

Schule der Pharmacie

Physikalischer Theil

bearbeitet

von

Dr. K. F. Jordan.

18/g. 93

Schule

3.

M. med.

954 ^{im}
—

Schule der Pharmacie

in 5 Bänden

herausgegeben

von

Dr. J. Holfert, Dr. H. Thoms, Dr. E. Mylius, Dr. K. F. Jordan.

Die Schule der Pharmacie umfasst fünf Bände und zwar:

Band I: **Praktischer Theil**, bearbeitet von Dr. E. Mylius,

- | | | |
|--------------------------------------|---|-----------------------------------|
| - II: Chemischer Theil , | - | - Dr. H. Thoms, |
| - III: Physikalischer Theil , | - | - Dr. K. F. Jordan, |
| - IV: Botanischer Theil , | - | - Dr. J. Holfert, |
| - V: Waarenkunde , | - | - Dr. H. Thoms u. Dr. J. Holfert. |

Die Verfasser sind von dem Grundsatz ausgegangen, dass die Schule der Pharmacie zwei Zwecken durchaus zu entsprechen habe: einerseits soll das Buch als Grundlage für einen dem Lehrling seitens seines Lehrherrn zu ertheilenden persönlichen Unterricht dienen können, andererseits aber soll es auch da, wo der Lehrling der persönlichen Unterweisungen etwa entbehrt, durch eine anschauliche Behandlung des Stoffes thunlichsten Ersatz dafür zu bieten im Stande sein. Die Verfasser waren daher bestrebt, auf diese Gesichtspunkte bei der Bearbeitung besonderen Werth zu legen.

Entsprechend dem Entwicklungsgange des jungen Pharmaceuten, dessen Thätigkeit zunächst eine praktisch ausübende sein muss, beginnt der erste Band der Schule der Pharmacie mit dem praktischen Theil, in welchem alles das erörtert ist, was der junge Pharmaceut an Kunstgriffen erlernen muss, um die sich ihm darbietenden Arzneistoffe der Apotheke kunstgerecht verarbeiten und verabfolgen, ferner um mit den Geräthschaften, die zur Ver-

arbeitung und Verabfolgung der Arzneistoffe nöthig sind, umgehen zu können. Die unleugbare Abnahme der eigentlichen Laboratoriumsthätigkeit in den Apotheken und andererseits die Zunahme der kaufmännischen Berufsthätigkeit des Apothekers erforderten eine ganz besonders eingehende Behandlung des praktischen Theiles und seine völlige Abtrennung von allem Uebrigen.

In den wissenschaftlichen Theilen haben die Verfasser von einer monographischen Behandlung der landläufigsten Kapitel oder gar der Prüfungsaufgaben abgesehen und unter Vermeidung aller überflüssigen Gelehrsamkeit dem Lernenden ein klares Gesamtbild der einzelnen Wissenszweige mit steter Bezugnahme auf die pharmaceutisch wichtigen Gegenstände gegeben. Die Verfasser waren besonders bemüht, in möglichst leicht verständlicher Ausdrucksweise vom Leichten zum Schweren aufsteigend, die Hilfswissenschaften der Pharmacie: Chemie, Physik und Botanik, in ihren Grundzügen festzustellen.

An Stelle des pharmakognostischen Theiles liessen die Verfasser einen solchen betitelt Waarenkunde treten. Hierdurch wurde es ohne viele Wiederholungen ermöglicht, im chemischen Theile des Eingehens auf die Beschaffenheit der in der Apotheke vorrätthigen Chemikalien zu entrathen und Prüfung und Werthbestimmung derselben zusammenhängend zu behandeln. Dies sind dieselben Gesichtspunkte, welche ja schon von jeher eine Abtrennung der Pharmakognosie als besonderer Disciplin von der Botanik veranlasst haben. Chemische und botanische Waarenkunde (Pharmakognosie) haben im vorliegenden Buche eine völlig analoge Behandlung gefunden.

In allen Theilen sind die Verfasser von dem Grundsatz ausgegangen, dass der am leichtesten fassliche Lehrgang der beste sei. Zur Unterstützung des Begriffsvermögens haben sich dieselben einer möglichst einfachen Ausdrucksweise und ausgedehnter Verwendung guter Abbildungen bedient.

Verlagsbuchhandlung von Julius Springer in Berlin N.

 *Jeder Band ist einzeln käuflich.* 

Schule der Pharmacie.

Herausgegeben von

Dr. J. Holfert, Dr. H. Thoms, Dr. E. Mylius, Dr. K. F. Jordan.

III.

Physikalischer Theil.

Bearbeitet

von

Dr. K. F. Jordan.

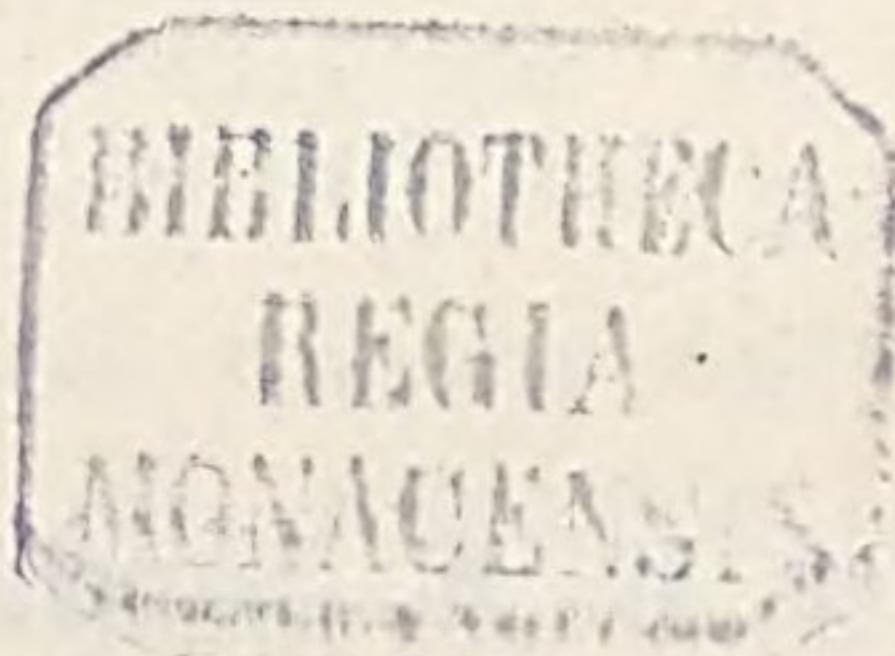
Mit 101 in den Text gedruckten Abbildungen.



Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1893.



Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Vorwort.

Drei Gesichtspunkte waren es, die mich bei der Abfassung des vorliegenden Grundrisses leiteten. Sie sind: 1. Schaffung einer zusammenhängenden und doch kurzen Darstellung der Lehren der Physik und ihrer wichtigeren Anwendungen; 2. Darbietung des für den Apothekerlehrling Nothwendigen und Wünschenswerthen in ausreichendem Umfange; 3. verständliche Behandlung des Vorgetragenen.

Was den ersten Punkt anbetrifft, so diene zu seiner näheren Begründung, dass die „Schule der Pharmacie“ nicht nur als Unterlage für die unmittelbare Vorbereitung zum Examen dienen, sondern ein Werk sein soll, aus dem der angehende Apotheker wahrhaft gründlich und allseitig lernen kann und das ihm stets ein treuer Rathgeber in allen seinen Beruf betreffenden Fragen ist. Wenn nun auch eine Uebersicht über das gesammte Gebiet der Physik geboten werden sollte, in welcher die neuesten, besonders theoretisch wichtigen Forschungen nicht übergangen werden durften, so musste doch in Anbetracht des besonderen Zweckes, den das Werk verfolgt, auf gewisse Abschnitte und Kapitel der Physik der Nachdruck gelegt werden; sie mussten eine eingehendere und ausführlichere Behandlung erfahren.

Hiermit ist der zweite der oben genannten Gesichtspunkte gerechtfertigt. An dem Umfange der einzelnen Theile des Buches wird der Leser beurtheilen können, in welchem Maasse diesem Gesichtspunkte Genüge geschehen ist. Die einleitenden Kapitel (1. Materie und Kraft; Trägheit und Reibung; 2. Allgemeine Eigenschaften der Körper) sowie die Mechanik (4. Allgemeine Mechanik; 5. Mechanik der festen, 6. der flüssigen und 7. der luftförmigen Körper) sind besonders ausführlich bedacht worden, weil in ihnen die grundlegenden Thatsachen, Gesetze und Theorien der Physik zu finden sind, mannichfache Apparate zur Beschreibung und Erklärung gelangen,

die für den Apotheker von Wichtigkeit sind, und gewisse Operationen, die zur pharmaceutischen Thätigkeit gehören, erörtert werden. Dass die Akustik und die Lehre vom Magnetismus nur knapp gefasst wurden, bedarf wohl keiner weiteren Begründung. Auch der Umfang der übrigen Theile des Buches rechtfertigt sich von selbst.

Der dritte Gesichtspunkt: die verständliche Behandlung des Vorgetragenen, lag mir besonders am Herzen, da kein blosser Leitfaden noch ein Repetitorium, sondern eine „Schule“ der einschlägigen Wissenschaften geliefert werden sollte; eine besondere Schwierigkeit lag hier darin, bei aller Kürze und Vollständigkeit doch einer derartigen Darstellung sich zu befeissigen, dass der Apothekerlehrling auch ohne Inanspruchnahme fremder Hilfe und fremden Rathes volle Klarheit über die gesammte Disciplin und ausreichende Einsicht in alle vorgetragenen Einzelheiten gewinnt. Möchte es mir gelungen sein, gerade diese Schwierigkeit recht überwunden zu haben! Nicht immer konnte ich, wie ich es gern gemocht hätte, von der eingehenden Besprechung besonderer Versuche ausgehen, um den Lernenden zur Erkenntniss der Gesetze emporzuführen; dazu war der mir zur Verfügung stehende Raum zu gering. Doch habe ich es mir angelegen sein lassen, auch da, wo ich ein Gesetz, eine Wahrheit nur kurz hinstellte, sie in klarer und ausreichender Darstellung vorzuführen.

Ueber die Eintheilung des gesammten Stoffes in 15 Kapitel möchte ich noch einige Worte sagen. Diese hohe Zahl kam besonders dadurch zu Stande, dass ich von vornherein die Elektrizitätslehre in drei Theile auseinanderlegte; ich halte das für durchaus angebracht, da dieselben von einander ungefähr in demselben Maasse verschieden sind, wie die Lehre des Magnetismus von ihnen. Dass ich ferner die Mechanik nicht in Statik und Dynamik trennte, rechtfertigt sich so, dass die Ruhelage nur ein besonderer Fall der Bewegung ist ($\text{Geschwindigkeit} = 0$); die Eintheilung in allgemeine Mechanik und Mechanik der festen, der flüssigen und der luftförmigen Körper verdient vor jener den Vorzug. Für nothwendig hielt ich es, der Akustik und Optik ein besonderes Kapitel über den Stoss elastischer Körper und die Wellenbewegung voranzustellen.

Berlin, Juni 1893.

Karl Friedr. Jordan.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
1. Materie und Kraft; Trägheit und Reibung	1
2. Allgemeine Eigenschaften der Körper	6
3. Krystallographie (Lehre von den Krystallformen)	18
4. Wirkungen der Schwerkraft auf alle Arten von Körpern (Allgemeine Mechanik)	28
5. Wirkungen der Schwerkraft auf feste Körper (Mechanik der festen Körper)	41
6. Wirkungen der Schwerkraft auf flüssige Körper (Mechanik der flüssigen Körper)	53
7. Wirkungen der Schwerkraft auf luftförmige Körper (Mechanik der luftförmigen Körper)	69
8. Stoss elastischer Körper und Wellenbewegung	85
9. Die Lehre vom Schall (Akustik)	88
10. Die Lehre vom Licht (Optik)	92
11. Wärmelehre	116
12. Reibungselektricität	139
13. Magnetismus	151
14. Galvanismus	156
15. Elektromagnetismus und Magnetoelektricität; Elektrodynamik und Dynamoelektricität	166

1. Materie und Kraft; Trägheit und Reibung.

Physik. Die Physik ist die Lehre von den allgemeinen Eigenschaften und Bewegungs-Erscheinungen der Materie und den sie bewirkenden Kräften.

Hierin liegt ausgesprochen, dass eine Betrachtung der besonderen Bewegungs-Erscheinungen, wie wir sie im Gebiete der belebten Natur antreffen (z. B. der Wachsthumsvorgänge, der Bewegungen von Pflanzentheilen unter dem Einflusse des Lichts u. dgl. m.), nicht zu den Aufgaben der Physik gehört. Aber auch mit denjenigen Vorgängen im Bereiche des Unorganischen hat es die Physik nicht zu thun, bei denen es sich um stoffliche Veränderungen der Körper handelt; sie gehören ins Gebiet der Chemie, die übrigens eine der Physik nahe verwandte Wissenschaft und nicht immer leicht von ihr zu trennen ist.

Materie. Die Materie (oder der Stoff) ist durch drei Grundeigenschaften gekennzeichnet; diese sind: 1. die Raumerfüllung (Ausdehnung), 2. die Undurchdringlichkeit seitens anderer Materie und 3. die Fähigkeit einer Änderung der räumlichen Lage (die Bewegungsfähigkeit).

Kraft. Mit dem Worte Kraft bezeichnet man die Ursache einer Änderung des Bewegungszustandes eines Körpers. — Als Bewegungszustand ist nicht nur eine Bewegung irgend welcher Art, sondern auch die Ruhe — als Abwesenheit jeglicher Bewegung — aufzufassen. Ein Körper (im physikalischen Sinne) ist ein bestimmter Mengentheil der gesamten Materie, der als ein in gewissem Maasse einheitliches Wesen — als Individuum — erscheint.

Zu der Annahme von Kräften sind wir durch unsere Kausalanschauung genöthigt. Da unser Denken nämlich (gemäss dieser Anschauung) für jedes Geschehniss ein anderes verlangt, durch welches es hervorgerufen wird, sowie ein weiteres, das eine Folge von ihm ist — oder kürzer: da wir uns keine

Wirkung ohne Ursache und keine Ursache ohne Wirkung denken können,¹⁾ so muss auch jede Änderung (und damit Neugestaltung) des Bewegungszustandes, den ein Körper hat, durch irgend etwas verursacht werden; dieses Etwas nennt man Kraft. Damit ist über das Wesen, über die innere Natur der Kräfte nichts entschieden. Man wird gut thun, dies festzuhalten und sich nicht vorschnell metaphysischen Vorstellungen von dem Wesen der Kräfte hinzugeben. —

Trägheit oder Beharrungsvermögen der Körper. Wie einerseits durch die Einwirkung einer Kraft auf einen Körper eine Änderung in dem Bewegungszustande des letzteren hervorgebracht wird, so verharret andererseits ein Körper, auf den keine Kraft einwirkt, unverändert in dem Bewegungszustande, den er gerade hat. — Es ist dies nur die andere Seite der soeben angegebenen Folgerung aus dem Grundsatz der Kausalität. Trotzdem bezeichnet man die Eigenschaft der Körper, ohne die Einwirkung einer ändernden Kraft in ihrem jeweiligen Bewegungszustande zu verharren (da sie vielfach von besonderer Bedeutung ist), mit einem eigenen Namen: nämlich als das Beharrungsvermögen oder die Trägheit der Körper, und man spricht demgemäss von einem Beharrungs- oder Trägheitsgesetz — als einem Grundgesetz der Physik. — Dasselbe wurde von Galilei, einem italienischen Physiker, im Jahre 1638 aufgestellt. Erst auf Grund dieses Gesetzes ist eine richtige Erklärung des freien Falls, der Schwungkraft, der Pendelschwingungen, der Planetenbewegung u. s. w. möglich.

Wir können demselben folgende Fassung geben:

(Beharrungs- oder Trägheitsgesetz.) Jeder Körper behält den Bewegungszustand, den er in irgend einem Momente hat, nach Richtung und Geschwindigkeit unverändert bei, so lange keine äussere Kraft (ändernd) auf ihn einwirkt.

Man kann dies Gesetz in zwei Theile zerlegen:

a. Jeder in Ruhe befindliche Körper bleibt so lange in Ruhe, bis er durch eine äussere Kraft in Bewegung gesetzt wird;

b. jeder in Bewegung befindliche Körper behält seine Bewegung nach Richtung und Geschwindigkeit so lange unverändert bei, bis eine äussere Kraft ihn daran hindert.

¹⁾ Das vollständige Kausalgesetz sagt noch etwas mehr aus, nämlich, dass jede Wirkung eine bestimmte Ursache hat, mit der sie nothwendig verbunden ist, sodass auf dieselbe keine andere Wirkung folgen kann. Der Physiker und Philosoph Fechner hat dem Kausalgesetz folgende Fassung gegeben: Unter gleichen Bedingungen treten jedes Mal gleiche Folgen ein, unter abgeänderten Bedingungen abgeänderte Folgen.

Geschwindigkeit. Hier ist der Ausdruck Geschwindigkeit zu erklären. Die Geschwindigkeit ist der Weg, den ein bewegter Körper in der Zeiteinheit (Sekunde, Minute, Stunde u. s. w.) zurücklegt. —

Beschleunigungswiderstand. Nach der Ansicht mancher Physiker setzt dem Trägheitsgesetz zufolge ein Körper jeder Kraft, welche seinen Bewegungszustand zu ändern strebt, einen Widerstand entgegen. Das Beharrungsvermögen oder die Trägheit der Körper würde dann auf diesem Widerstande beruhen oder gar in ihm bestehen. Da nun die Trägheit einen derartigen Widerstand nur gegen eine Zunahme der Geschwindigkeit oder eine Beschleunigung, nicht gegen eine gleichbleibende Bewegung ausübt, so hat man den Trägheitswiderstand zum Unterschiede von anderen Widerständen auch Beschleunigungswiderstand genannt. — Aber ein solcher Widerstand, der nur zeitweise in der Materie wirksam sein soll, nämlich nur dann, wenn äussere Kräfte auf sie einwirken, ist nicht annehmbar. Zudem müsste ein Widerstand, der doch einer Kraft entgegenwirkt, selbst eine Kraft sein; wir würden also mit dem Trägheitswiderstande von vornherein eine Kraft in der Materie annehmen, ehe wir noch durch unsere Kausalanschauung zu einer Annahme von Kräften genöthigt wären.

Wirkungen des Beharrungsvermögens. a) Wird ein mit Wasser gefülltes Glas plötzlich und schnell in wagerechter Richtung fortbewegt, so schwappt das Wasser in der entgegengesetzten Richtung über den Rand des Glases (indem es an dem zuvor von ihm im Raume eingenommenen Platze zu verharren strebt). Rückt ein Wagen plötzlich an, so fallen oder kippen die darin befindlichen Personen nach hinten zurück; das Gleiche geschieht, wenn ein Boot, worin jemand steht, vom Lande abstösst. Festklopfen eines Hammerstiels auf die Weise, dass man den Hammer mit dem Kopf nach unten hält und auf das obere Ende des Stiels kurze Schläge führt.

b) Wird ein mit Wasser gefülltes, gleichförmig fortbewegtes Glas plötzlich angehalten, so schwappt das Wasser in der Richtung über den Rand des Glases, in welcher letzteres zuvor bewegt wurde (es setzt das Wasser die innegehabte Bewegung fort). Hält ein Wagen plötzlich an oder stösst ein Boot ans Ufer, so fallen die darin befindlichen Personen entweder ganz oder nur mit dem Oberkörper vorwärts. Festklopfen eines Hammerstiels auf die Weise, dass man den Kopf des Hammers nach oben hält und das Ende des Stiels auf eine feste Unterlage mehrmals kräftig aufstösst. — Ein Schlittschuhläufer, der auf eine Sandstelle geräth, fällt nach vorn. Das Stolpern. Das Hinfallen beim Abspringen von einem in der Fahrt befindlichen Pferdeisenbahnwagen (die Füsse werden, sowie sie den ruhenden Erdboden berühren, festgehalten, während der Oberkörper die innegehabte Bewegung fortsetzt; läuft man ein Stück mit dem Wagen mit oder biegt man den Oberkörper nachdrücklich nach hinten über, so kann man das Hinfallen vermeiden). — Wenn ein Eisenbahnzug in einen Bahnhof einfährt und daselbst anhalten soll, so unterbricht man die Arbeit der Lokomotive schon eine Strecke vor dem Bahnhof, weil die Bewegung des Zuges (auch ohne die Thätigkeit der Lokomotive) noch eine Weile andauert; und schliesslich muss der Zug

gebremst werden, um vollständig zum Stillstand zu kommen. Auf einen Pfeil, den man aus einer Armbrust abschießt, wirkt die Sehne, auf das Geschoss einer Feuerwaffe die Kraft der Pulvergase nur kurze Zeit; aber Pfeil und Geschoss beharren in der Bewegung, die ihnen mitgetheilt ist, noch längere Zeit nachher. Das Schwungrad einer Maschine setzt seine Umdrehung noch eine Weile fort, nachdem die Kraft, welche die Maschine treibt, zu wirken aufgehört hat.

Damit einem Körper eine Bewegung mitgetheilt oder genommen werde, ist eine gewisse Zeit erforderlich, während welcher die den Bewegungszustand ändernde äussere Kraft auf den Körper einwirkt. Aus diesem Grunde muss z. B. das in Ruhe befindliche Glas mit Wasser plötzlich in Bewegung gesetzt werden, wenn das Wasser überschwappen soll; weil sonst die Bewegung des Glases sich auf das Wasser übertragen würde, sodass dieses die Bewegung des Glases mitzumachen im Stande wäre. Es kommt hierbei noch eine andere Art von Umständen in Betracht, die aber erst an späterer Stelle verständlich gemacht werden kann. — Aus dem Gesagten geht hervor, dass es, streng genommen, keine momentan oder augenblicklich wirkende Kraft giebt. Trotzdem wird von momentanen Kräften gesprochen; es werden darunter solche Kräfte verstanden, die nicht eine Anzahl von Zeiteinheiten hindurch in stets der gleichen Weise auf einen Körper einwirken.

Erlöschen der Bewegungen. Die Thatsache, dass alle Bewegungen auf der Erde schliesslich doch ein Ende nehmen, erklärt sich daraus, dass ihnen die Kräfte der Reibung und des Luftwiderstandes entgegenwirken.

Reibung. Die Reibung ist der Widerstand, den die Bewegung eines Körpers erfährt, der einen anderen Körper berührt, welcher die Bewegung des ersteren nicht mitmacht. Sie wird dadurch hervorgerufen, dass die Erhabenheiten einer jeden der sich an einander reibenden Flächen in die Vertiefungen der anderen eingreifen und nun entweder abgerissen oder aus den Vertiefungen heraus- und über darauf folgende Erhabenheiten hinweggehoben werden müssen, wenn die Bewegung überhaupt stattfinden soll. (Das erstere geschieht mehr bei rauhen, das letztere mehr bei glatten Flächen.) Die Reibung ist um so grösser, je grösser der Druck zwischen den sich berührenden Körpern und je rauher die reibenden Flächen sind. Ausserdem hängt die Grösse der Reibung von der Natur der Stoffe ab, zwischen welchen sie stattfindet. Durch geeignete Schmiermittel kann der Reibungswiderstand verringert werden; (in erster Linie, weil durch das Schmieren die reibenden Flächen glatter werden). Zu merken ist, dass Schmiermittel, welche in den Körper einziehen, die Reibung nicht vermindern; daher wird Holz mit Talg oder harter Seife, nicht aber mit Oel geschmiert; letzteres eignet sich für Metalle. — Als Reibungs-Koeffizienten bezeichnet man das Verhältniss der Kraft, welche nöthig ist, die Rei-

bung zu überwinden, zur Last, welche die Reibung hervorruft (das Verhältniss zwischen Reibung und Druck).

Es giebt zwei Arten von Reibung: gleitende und wälzende Reibung; letztere findet da statt, wo ein runder Körper (Kugel, Cylinder u. s. w.) über eine Unterlage hinwegrollt. Bei der Bewegung von Zapfen in ihren Pfannen ist die Reibung eine gleitende.

Zu grosse Reibung ist uns beim Ziehen von Wagen, beim Betriebe von Maschinen u. s. w. lästig; aber gäbe es gar keine Reibung, so könnten wir weder gehen und stehen, noch etwas in den Händen halten, noch einen Wagen fortbewegen, noch die grösste Zahl unserer sonstigen Verrichtungen erfüllen.

Häufig wird beim Betriebe von Maschinen eine besondere Anwendung von der Reibung gemacht; so wird mittels des Treibriemens oder der Treib-

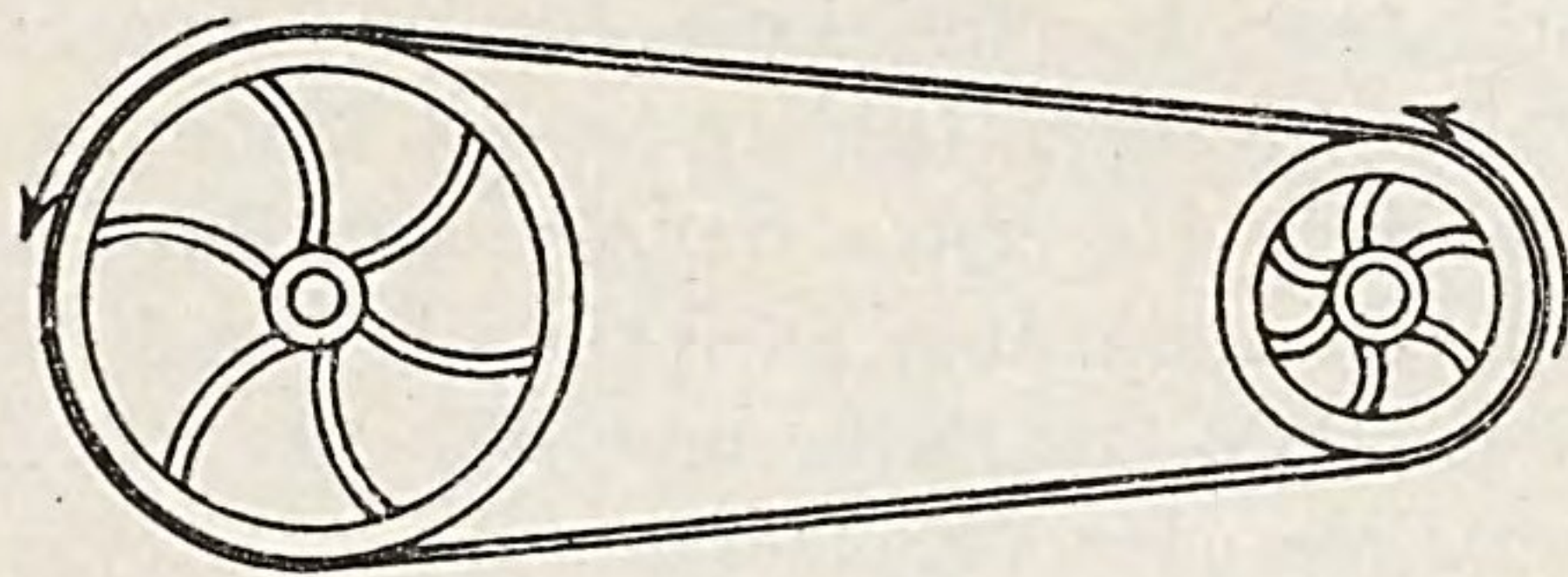


Fig. 1a. Offener Treibriemen.

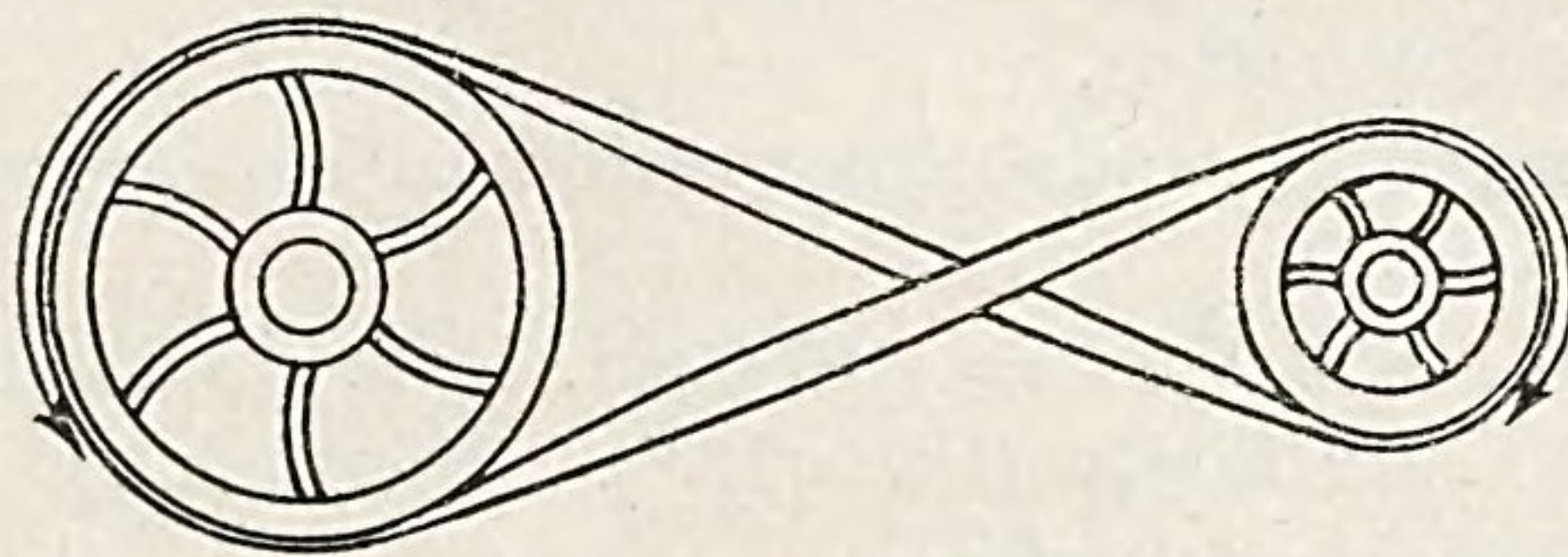


Fig. 1b. Gekreuzter Treibriemen.

schnur (auch Riemen oder Schnur ohne Ende genannt) die Bewegung eines Rades auf ein anderes übertragen. (Schwungmaschine, Drehbank.)

Der Treibriemen ist ein Riemen, dessen Enden an einander befestigt sind und der zwei Wellräder oder Riemenscheiben (siehe später) umspannt. Man unterscheidet den offenen und den gekreuzten Treibriemen oder Riemen ohne Ende. (Fig. 1a und 1b.)

Wird eins der Räder (z. B. das links befindliche, grössere Rad) in der Richtung des Pfeils in Umdrehung versetzt, so erfährt es bei straff angespanntem Riemen an diesem eine so starke Reibung, dass die Bewegung zwischen Rad und Riemen unmöglich gemacht und statt dessen der Riemen, den anderweit keine genügend grosse Kraft festhält, mit fortbewegt wird; er selbst setzt seinerseits das rechts befindliche Rad — ebenfalls auf Grund der Reibung, die er an demselben erfährt — in Umdrehung, und zwar in Fig. 1a (bei offenem Riemen) in demselben Sinne wie das linke Rad, in Fig. 1b (bei gekreuztem Riemen) im entgegengesetzten Sinne.

2. Allgemeine Eigenschaften der Körper.

Längen-, Flächen- und Körpermessung. Die Ausdehnung eines Körpers kann in dreifacher Hinsicht gemessen werden; danach unterscheidet man 1. Längen- oder Linear-, 2. Flächen-, 3. Körper-Ausdehnung. Alles Messen beruht auf einer Vergleichung des zu messenden Körpers mit einem andern Körper, der ein für allemal bestimmt und in Bezug auf die zu messende Eigenschaft (hier die Ausdehnung) bekannt ist. Dieser Körper heisst das Maass und, weil ihm die Maasszahl 1 beigelegt wird, genauer die Maasseinheit.

Es giebt, entsprechend den drei Arten der Ausdehnung: Längen-, Flächen- und Körpermaasse. Die Längeneinheit ist das Meter (zuerst in Frankreich eingeführt, 1799, zur Zeit der ersten französischen Revolution), dessen Länge annähernd gleich dem zehnmillionten Theil eines $\frac{1}{4}$ Meridians der Erde ist. Ein solcher $\frac{1}{4}$ Meridian der Erde (die Entfernung des Pols vom Äquator) heisst auch Meridianquadrant der Erde oder Erdquadrant.

1 Meter (m) = 10 Decimeter (dm) = 100 Centimeter (cm) = 1000 Millimeter (mm). 1 Mikromillimeter (μ) = 1 Tausendstel Millimeter. 1 Kilometer (km) = 1000 m. $7\frac{1}{2}$ km = 7500 m = 1 (deutsche geogr.) Meile. 15 geogr. Meilen = 1 Grad (1°) des Erdäquators.

Ältere Längenmaasse sind der rheinische oder preussische Fuss und der pariser Fuss.

1 m = 3,186 rhein. Fuss = 3,078 par. Fuss. 1 rhein. Fuss = 12 Zoll ($1' = 12''$); 1 Zoll = 12 Linien ($1'' = 12'''$). Hiernach ist 1 m = rund $38\frac{1}{4}$ rhein. Zoll. — 12 Fuss = 1 Ruthe.

Sonstige Längenmaasse: Die engl. Meile = $\frac{1}{4}$ geogr. Meile = 10 Kabel-längen; (1 engl. Meile = 1760 Yards, 1 Yard = 36 engl. Zoll = 0,914 m). 1 russ. Werst = 1067 m, also nahezu = 1 km.

Die Flächeneinheit ist das Quadratmeter (qm), die Raumeinheit (Einheit für die Körpermessung) das Kubikmeter (cbm). Häufiger noch bedient man sich bei der Körper-Messung, insbesondere wenn es sich um Flüssigkeiten handelt, des Liters (l), welches ein Hohlmaass ist; 1 l = 1 Kubikdecimeter (cbdm) = 1000 Kubikcentimeter (ccbm); 1 cbm = 1000 l.

Den Rauminhalt eines Körpers bezeichnet man als sein Volum (oder Volumen).

Theilbarkeit. Unsere Erfahrung lehrt uns, dass alle Körper theilbar sind, d. h. sich in kleinere Körper zerlegen lassen. Schon diese Thatsache der Theilbarkeit (Entstehung zweier Wesen aus einem) weist darauf hin, dass ein jeder Körper von vornherein kein völlig einheitliches räumliches Wesen, sondern aus einer Anzahl materieller Theile zusammengesetzt ist, welche durch kleine Zwischenräume von einander getrennt sind. Sind diese Zwischen-

räume so gross, dass man sie sehen kann, oder dass wenigstens andere Körper (Flüssigkeiten oder Luft) in sie eindringen können, so nennt man sie Poren, und der Körper, in dem sie enthalten sind, heisst porös. Zu den porösen Körpern gehören: Badeschwamm, Brot, Holz, Papier u. a. m.

Eine Folge der Porosität vieler Körper — und somit eine Folge ihrer Zusammensetzung aus kleineren materiellen Theilen — ist ihre Quellbarkeit. Diese besteht in einer Zunahme des Rauminhalts auf Grund des Eindringens einer Flüssigkeit (gewöhnlich Wasser) in die Poren. — Bei nassem Wetter quillt das Holz von Fenstern und Thüren. Befeuchtetes Papier wird auf der nassen Seite ausgedehnt und krümmt sich in Folge dessen. Aufspannen eines Bogens Zeichenpapier auf einem Reissbrett: er wird erst mit einem nassen Schwamm befeuchtet, dann ringsum am Rande auf dem Reissbrett festgeklebt; beim Trocknen zieht er sich zusammen und wird straff und glatt.

Das Zerbrechen, Zerschlagen, Zerreißen u. s. w. eines Körpers besteht nach dieser Anschauung einzig darin, dass die Theilchen, aus denen der Körper zusammengesetzt ist, so weit von einander entfernt werden, dass sie (durch innere Kräfte) nicht mehr zur Wiedervereinigung gebracht werden können.

Die Theilbarkeit der Körper muss eine Grenze haben, denn gäbe es eine unendliche Theilbarkeit, so müsste ein Körper von endlicher Grösse aus unendlich vielen (weil unendlich kleinen) Theilen zusammengesetzt sein, was aber innerhalb der materiellen Wirklichkeit nicht möglich ist. Nur in Gedanken giebt es eine unbegrenzte Theilbarkeit.

Atome und Moleküle. Die kleinsten Theile eines Körpers, die durch keinerlei mechanische noch sonstige Mittel weiter getheilt werden können, heissen Atome (genauer Masse-Atome). Sie sind, ob zwar ausserordentlich klein und auf keine Weise sinnlich wahrnehmbar, doch von endlicher räumlicher Grösse. Die Masse-Atome treten zu chemischen Atomen zusammen, diese zu Molekülen (oder Molekeln). Die Moleküle sind also noch durch gewisse Hilfsmittel theilbar.

Zu den allgemeinen Eigenschaften der Körper rechnet man ausser den genannten, nämlich: Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Bewegungsfähigkeit, Trägheit, Theilbarkeit (Porosität) noch einige weitere, die durch die Wirksamkeit gewisser allgemeiner Kräfte zu Stande kommen. Es sind: die Schwere, die Kohäsion und die Aggregatzustände, sowie die Veränderlichkeit des Rauminhalts der Körper.

Schwere und Schwerkraft. Die Schwere ist diejenige Eigenschaft eines Körpers, welche es bewirkt, dass der Körper, ohne

Unterstützung gelassen, sich dem Erdmittelpunkte so weit als möglich nähert, oder dass er, wenn er unterstützt wird, auf seine Unterlage drückt, bezw. auf den ihn in hängender Lage haltenden Gegenstand einen Zug ausübt. — An der Grösse dieses Druckes oder Zuges erkennt man die Grösse der Schwere oder das Gewicht des Körpers. — Die Bewegung eines Körpers in der Richtung nach dem Erdmittelpunkte nennt man Fall (bezw. das Fallen).

Da nun (nach dem Beharrungsgesetz) ein Körper nicht von selbst in eine Bewegung eintreten, noch danach streben kann, die Bewegung auszuführen, so muss es eine Kraft geben, welche das Fallen der Körper veranlasst oder allgemeiner: welche die Ursache ihrer Schwere ist. Diese Kraft hat den Namen Schwerkraft. — Dieselbe wirkt nach dem Gesagten überall auf der Erdoberfläche in der Richtung nach dem Erdmittelpunkte hin.

Über das Wesen der Schwerkraft wissen wir nichts Genaueres; es können nur Annahmen oder Hypothesen darüber aufgestellt werden. Die Art, wie sich die Schwerkraft äussert, gleicht denjenigen Erscheinungen, welche wir wahrnehmen, wenn ein Körper von einem andern angezogen wird (etwa mittels eines Strickes, der beide verbindet). Daher hat man die Schwerkraft auch als eine Anziehungskraft, und zwar genauer als die Anziehungskraft der Erde (auch Erdanziehung) bezeichnet. Von einer wirklichen Anziehung kann indessen nicht die Rede sein; wir haben es nur mit dem Bilde einer Anziehung, mit Erscheinungen, die den Anziehungs-Erscheinungen ähnlich sind, zu thun. Wahrscheinlich ist die Schwerkraft in Stössen zu suchen, welche die Atome eines den Weltraum erfüllenden Stoffes: des Äthers (Weltäthers), auf die dem Erdmittelpunkte zustrebenden Körper ausüben.

Attraktion. Der englische Physiker Isaak Newton (1642 bis 1727) stellte das Gesetz von der allgemeinen Anziehung aller Theile der Materie auf. In der That zeigt sich nicht nur zwischen der Erde und den ihrem Bereich angehörenden Körpern, sondern auch zwischen den verschiedenartigen Himmelskörpern ein (gegenseitiges) Annäherungsstreben. Die zwischen den Himmelskörpern herrschende „Anziehung“¹⁾ heisst Gravitation. Da die Erde mit zu den Himmelskörpern gehört, erstreckt sich die Gravitation auch auf sie. Die gegenseitige Anziehung — oder besser gesagt: das gegenseitige Annäherungsstreben — räumlich entfernter Körper überhaupt bezeichnet man als Attraktion.

Masse. An der Grösse der Schwere oder dem Gewicht der Körper lässt sich die Menge der Materie, die sie darstellen, erkennen. Da man die kleinsten Theile der Materie, die sogenannten Masse-Atome

¹⁾ Wir können diesen Ausdruck nicht fallen lassen, weil er ziemlich allgemein gebräuchlich ist.

(S. 7) sämmtlich als gleichartig, insbesondere also als gleich schwer annimmt, so ist ein Körper um so schwerer (stellt er um so mehr Materie dar), aus je mehr Masse-Atomen er zusammengesetzt ist. Die Anzahl der Masse-Atome eines Körpers heisst seine Masse. Ein Maass der Masse eines Körpers ist sein Gewicht. (Aber dies auch nur für die Verhältnisse auf einem und demselben Weltkörper, z. B. der Erde; auf anderen Weltkörpern als auf der Erde würden die irdischen Körper auch andere Gewichte aufweisen; ihre Massen aber würden im ganzen Weltraum stets unveränderlich dieselben sein.)

Gewichtsmaasse. Als Massen- oder Gewichtseinheit hat man dasjenige Gewicht gewählt, welches ein Kubikcentimeter reinen Wassers unter gewissen Bedingungen besitzt, nämlich wenn es sich 1. im Zustande der grössten Dichtigkeit (bei $+4^{\circ}\text{C.}$), 2. unter 45° geographischer Breite, 3. im Meeresniveau und 4. im luftleeren Raume befindet. Dieses Gewicht heisst ein Gramm. — Die genannten Bedingungen sind erforderlich, weil sich das Gewicht eines und desselben Körpers mit der Dichtigkeit, der geographischen Breite, der Höhe über dem Meeresspiegel und der Luftbeschaffenheit (Luftdichte) ändert.

1 Gramm (g) = 10 Decigramm (dg) = 100 Centigramm (cg) = 1000 Milligramm (mg). 1 Kilogramm (kg) = 1000 g. 1 preuss. Pfund (℔) = $\frac{1}{2}$ kg = 500 g.

1 l Wasser (= 1000 cbcm) wiegt 1000 g oder 1 kg.

Ausser den genannten Gewichten waren früher noch besondere Medicinalgewichte im Gebrauch: das Medicinal-Pfund (libra), die Unze (uncia), die Drachme (drachma), der Skrupel (scrupulus), das Gran (granum). Das Pfund hatte 12 Unzen; die Unze 8 Drachmen; die Drachme 3 Skrupel; der Skrupel 20 Gran. Die Anzahl der Gewichtseinheiten wurde in römischen Ziffern hinter das betreffende Gewichtszeichen geschrieben.

1 Skrupel (↗ Ī) = 20 Gran (gr. XX).

1 Drachme (↗ Ī) = 3 Skrupel = 60 Gran.

1 Unze (↗ Ī) = 8 Drachmen = 24 Skrupel = 480 Gran.

Umrechnung in neueres Gewicht: 1 Unze = 30,00 g; 1 Drachme = 3,75 g; 1 Skrupel = 1,25 g; 1 Gran = 0,06 g.

Das gewöhnliche preuss. Pfund wurde in 32 Loth (1 Loth = 15 g), das Loth in 4 Quentchen (1 Qu. = $3\frac{3}{4}$ g) eingetheilt.

Nach dem Angegebenen war: 1 Loth = $\frac{1}{2}$ Unze, 1 Quentchen = 1 Drachme.

Gravitationsgesetz. Die Gravitation ist nicht für alle Körper und alle Entfernungen derselben von einander die gleiche, sie hängt vielmehr von der Masse der anziehenden Körper und ihrer Entfernung in gesetzmässiger Weise ab. Hierüber giebt das Newton'sche Gravitationsgesetz Aufschluss, zu dessen Erkenntniss und Feststellung Newton durch die von den Bewegungen der Himmelskörper handelnden Kepler'schen Gesetze gelangt ist.

Das Gravitationsgesetz lautet: Je zwei materielle Körper ziehen einander an mit einer Kraft, welche den anziehenden Massen

direkt und dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional ist.

Zur näheren Erläuterung dieses Gesetzes diene Folgendes:

Wenn ein Körper A einmal von einem Körper B und ein anderes Mal von einem Körper C angezogen wird, der die doppelte oder dreifache oder vierfache oder n -fache Masse hat wie B , so ist die Anziehungskraft, welche C ausübt, doppelt oder dreimal oder viermal oder n -mal so gross wie die Anziehungskraft des Körpers B — vorausgesetzt, dass die Entfernung von dem Körper A jedesmal dieselbe ist. Dies leuchtet ohne Weiteres ein. Umgekehrt wächst die Anziehungskraft, die zwischen den beiden Körpern A und B wirksam ist, auch, wenn der angezogene Körper (A) durch einen Körper von grösserer Masse ersetzt wird; und zwar entspricht auch in diesem Falle der doppelten Masse die doppelte Anziehungskraft u. s. f.

Wird die Entfernung zwischen den einander anziehenden Körpern grösser, so nimmt die Anziehungskraft ab. Dass diese Abnahme entsprechend dem Quadrat der Entfernung erfolgt, ist nicht ohne Weiteres klar. Wie Newton diese Thatsache auf Grund der denkenden Beobachtung fand, ist oben angedeutet worden. Aber man kann sie auch sinngemäss erfassen. — Wie S. 8 erwähnt ist, findet die Schwere und ebenso die Massenanziehung, das Annäherungsstreben der Körper im Allgemeinen eine Erklärung in Aetherstössen, durch welche zwei einander „anziehende“ Körper einander zugetrieben werden. (Die zwischen den Körpern wirksamen Stösse kommen nicht — im Sinne einer Entfernung der Körper von einander — zur Geltung, weil ihre Zahl verhältnissmässig gering ist.) Die Gesammtheit der die Körper von aussen treffenden Aetherstösse tritt als Aetherdruck in die Erscheinung. Dieser Aetherdruck erfolgt auf einen anziehenden Körper von allen Seiten des Raumes aus; er wirkt in gleicher Stärke an allen solchen Punkten des Raumes, welche von dem Mittelpunkt des anziehenden Körpers gleich weit entfernt sind; dieselben erfüllen eine Kugeloberfläche. Sie heisse Druck-Sphäre. Je kleiner die Druck-Sphäre, desto grösser der Aetherdruck an jedem Punkte derselben und umgekehrt. Da nun die Oberfläche einer Kugel $= 4r^2\pi$, also direkt proportional dem Quadrat des Radius ist, so muss der auf den anziehenden Körper hin gerichtete Aetherdruck an jedem Punkte der Druck-Sphäre ebenfalls proportional dem Quadrat des Radius abnehmen, wenn die Druck-Sphäre grösser wird; oder mit anderen Worten: das nach dem anziehenden Körper hin gerichtete Annäherungsstreben eines Punktes bezw. zweiten Körpers muss umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung sein, welche beide Körper von einander besitzen.

Bezeichnet man die Massen zweier einander anziehender Körper mit m_1 und m_2 , ihre gegenseitige Entfernung mit r und die zwischen beiden wirksame Anziehungskraft mit A und betrachtet man diejenige Anziehungskraft als Einheit, welche zwischen zwei Masseneinheiten wirkt, deren gegenseitige Entfernung gleich der Längeneinheit ist, so gilt folgende Formel:

$$A = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

Kohäsion und Adhäsion. Während die Attraktion eine Kraft ist, die zwischen je zwei beliebigen getrennten Körpern nach demselben Gesetze wirksam ist, giebt es Kräfte, die entweder zwischen den Theilen eines und desselben Körpers (in seinem Innern) oder an der Grenze zweier sich berührender Körper auftreten und gleichfalls ein Annäherungsstreben verschiedener Theile der Materie herstellen; zu diesen Kräften gehören die (S. 7 erwähnte) Kohäsion und die Adhäsion. Ihre Wirksamkeit hängt von der Natur der Körper ab. Und da sie nur auf sehr kleine Entfernungen hin wirken — von Molekül zu Molekül — so hat man sie Molekularkräfte genannt.

Kohäsion. Die Kohäsion äussert sich in dem Zusammenhang zwischen den Theilen eines und desselben Körpers; sie wirkt einer Trennung der Theile (durch Zerreißen, Zerschneiden, Erwärmen u. s. w.) entgegen. Die Kohäsion des Eisens ist grösser als z. B. die des Wachses, diese grösser als die Kohäsion des Wassers. Der Luft und allen luftförmigen Körpern fehlt die Kohäsion ganz.

Wird ein Körper zusammengedrückt (komprimirt), so stellt sich — bei manchen Körpern spät, bei manchen schon sehr bald — eine Grenze heraus, jenseits welcher eine weitere Kompression unmöglich ist. Man führt diese Erscheinung auf die Wirksamkeit einer entgegengesetzt wie die Kohäsion wirkenden besonderen Kraft: der abstossenden oder Repulsivkraft, auch Expansionskraft genannt, zurück; die Annahme derselben ist aber nicht zu empfehlen, denn wenn auch die Kohäsion sich schliesslich auf Aetherdruck (bezw. Aetherstösse) wird zurückführen lassen, so ist es hier gewiss, dass die Stösse der im Innern der Körper (in den molekularen Zwischenräumen) sich bewegenden Aetheratome, die Rückstösse der auf einander prallenden Körper-Moleküle und -Atome selbst, ferner ihre Trägheit, welche sie, da sie einmal in Bewegung sind, immer weiter nach aussen zu führen sucht, sowie letzten Endes die Undurchdringlichkeit der Materie die Ursachen dafür sind, dass die Kompression eines Körpers nicht unbegrenzt vor sich gehen kann.

Aggregatzustände. Je nach der Grösse der Kohäsion, welche den Körpern eigen ist, theilt man diese in drei Hauptklassen ein: feste, flüssige (oder tropfbar flüssige) und luftförmige (oder gasförmige) Körper; die flüssigen Körper nennt man auch kurzweg Flüssigkeiten, die luftförmigen nennt man Gase. Die inneren Zustände, durch welche die einer jeden dieser Klassen angehörigen Körper gekennzeichnet sind, heissen die Aggregatzustände. (Die

Aggregatzustände der Körper beruhen also auf dem Zusammenhang ihrer Theile.) Die meisten Körper kann man, hauptsächlich durch Vermittlung der Wärme, aus einem in den benachbarten Aggregatzustand überführen, sie kommen also in zwei Aggregatzuständen und viele Körper sogar in allen drei Aggregatzuständen vor (z. B. das Wasser, der Schwefel u. a.).

Feste Körper. Die festen Körper haben die grösste Kohäsion. Sie setzen der gewaltsamen Trennung oder Lagenveränderung ihrer Theile (mehr oder minder grossen) Widerstand entgegen, zu dessen Überwindung eine äussere Kraft von gewisser Stärke erforderlich ist. Die festen Körper haben daher eine selbständige Gestalt. Ferner bieten sie gewisse Erscheinungen dar, welche theils unmittelbar auf die Kohäsion, theils auf die besondere Anordnung oder Lagerung der Moleküle zurückzuführen sind: die Festigkeit; die Härte (Gegensatz: die Weichheit); die Elasticität; die Biegsamkeit, Dehnbarkeit und Geschmeidigkeit; die Sprödigkeit (einschliesslich der Spaltbarkeit).

Festigkeit heisst der Widerstand, welchen ein Körper der gänzlichen Trennung seiner Theile entgegensetzt. Man unterscheidet: Zugfestigkeit oder absolute Festigkeit (die dem Zerreißen entgegenwirkt), Bruchfestigkeit oder relative Festigkeit (die dem Zerbrechen entgegenwirkt), Druckfestigkeit oder rückwirkende Festigkeit (die dem Zerdrücken entgegenwirkt), Schub- oder Scheerfestigkeit (die einer Trennung der Theile in seitlicher Richtung entgegenwirkt), Torsionsfestigkeit (die dem Zerdrehen entgegenwirkt).

Härte ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines andern in seine Oberfläche (dem Ritzen) entgegensetzt. Der härteste Körper ist der Diamant; er vermag alle anderen Körper zu ritzen. Die mineralogische Härteskala (von Mohs) enthält 10 Körper vom weichsten bis zum härtesten in solcher Anordnung, dass jeder folgende jeden vorangehenden ritzt, ohne von ihm geritzt zu werden. Sie lautet: Talk (1), Steinsalz (2), Kalkspath (3), Flussspath (4), Apatit (5), Feldspath (6), Quarz (7), Topas (8), Korund (9), Diamant (10). — Dem Steinsalz gleichzusetzen ist der Gips. — Anwendung der Härteskala: Wird ein Körper z. B. vom Quarz eben noch geritzt, aber nicht mehr vom Feldspath, so hat er die Härte des Quarzes oder kurz die Härte 7.

Elasticität nennt man diejenige Eigenschaft der Körper, auf Grund welcher sie nach dem Aufhören der Einwirkung äusserer Kräfte, durch die ihre Gestalt oder Grösse verändert wurde, die ursprüngliche Gestalt oder Grösse wieder annehmen, sofern nicht durch die Grösse der Kräfte eine gewisse Grenze in der Aenderung der molekularen Lagerung (Anordnung der Theile) überschritten worden ist. Diese Grenze für die Grösse der Kräfte heisst Elasticitätsgrenze. Elastische Körper sind z. B. Kautschuk und Stahl.

Wird die Elasticitätsgrenze überschritten, so entsteht bei einigen Körpern eine bleibende Aenderung in der Anordnung ihrer Theile, ohne dass der Zusammenhang der Theile gänzlich gelöst wird; bei anderen tritt ein Zerreißen, Zerbrechen

oder Zerspringen, d. h. eine plötzliche und vollständige Aufhebung des Zusammenhangs der Theile ein. Jene Körper nennt man biegsam (z. B. Blei), dehnbar (z. B. Gold), geschmeidig (z. B. Wachs); diese heissen spröde (Glas, Stahl, Antimon). Eine besondere Art der Sprödigkeit zeigen viele Mineralien, indem sie beim Zerspringen regelmässig gestaltete Bruchstücke liefern; man bezeichnet diese Eigenschaft als Spaltbarkeit (Beispiel: der Kalkspath).

Die Kohäsions-Verhältnisse der festen Körper unterliegen mancherlei Änderungen, welche durch die Wärme, die Art der Bearbeitung, denen man die Körper unterwirft, sowie geringe, fremdartige Zusätze hervorgerufen werden.

Der Einfluss der Temperatur (oder des Wärmegrades) auf die Kohäsion ist sehr bedeutend. Im allgemeinen bewirkt Erniedrigung der Temperatur Zunahme der Kohäsion, Erhöhung der Temperatur Abnahme derselben. — Glas nimmt an der ihm sonst eigenen Sprödigkeit ab und wird zäher, wenn man es, nachdem es gegossen ist, einem längeren Aufenthalt in heissem Oel (bei 300°) unterwirft (Hartglas).

Gehämmertes oder galvanisch niedergeschlagenes Kupfer ist dichter und fester als gegossenes. — Ein elastischer Körper verliert durch zu häufige Veränderungen seiner Gestalt an Elasticität.

Eisen weist je nach seinem Kohlenstoffgehalt verschiedene — auf der Kohäsion beruhende — Eigenschaften auf: als Gusseisen, welches am meisten Kohlenstoff enthält, ist es hart und spröde, als Stahl elastisch und als Stab- oder Schmiedeeisen zähe und dehnbar und lässt sich im weissglühenden Zustande schweissen, d. h. es lassen sich getrennte Stücke durch Hämmern vereinigen. — Ist Zink durch eine geringe Beimengung von Arsen verunreinigt, so lässt es sich nicht zu Zinkdraht ausziehen. — Fremde Metalle enthaltendes Gold büsst erheblich an Dehnbarkeit ein.

Flüssigkeiten. Die tropfbar flüssigen Körper haben zwar noch Kohäsion, aber sie ist nur gering. Sie besitzen noch einen bestimmten Rauminhalt (ein bestimmtes Volum); aber da ihre Teile schon durch die kleinste Kraft verschiebbar sind, so fehlt ihnen die selbständige Gestalt, und sie nehmen die Gestalt des Gefässes an, in welchem sie sich befinden.

Das Vorhandensein der Kohäsion erkennt man ausser an dem Besitz eines bestimmten Volums noch besonders an der Bildung von Flüssigkeitsstrahlen beim Ausfliessen; von Flüssigkeitsfäden beim Eintauchen und Herausheben eines festen Körpers aus einer Flüssigkeit; von Tropfen, wenn kleine Mengen einer Flüssigkeit in einer anderen Flüssigkeit oder einem Gase frei vertheilt sind.

Flüssigkeiten, welche beim Ausgiessen leicht Tropfen bilden, heissen dünnflüssig (Weingeist, Aether, Benzin u. a.); solche, die es nicht leicht thun, sondern die Form, welche sie angenommen haben, mehr zu erhalten streben, dick- oder zähflüssig (fette Oele, namentlich Ricinusöl, conc. engl. Schwefelsäure, Syrup und vor allem die Balsam-Arten).

Gase. Die Kohäsion der luftförmigen Körper ist gleich Null. Die Folge davon ist, dass die inneren Kräfte (die Ätherstösse, die

Stösse der Körpermoleküle und -Atome und das Beharrungsvermögen der letzteren) sich frei entfalten und das Volum der Körper zu vergrössern streben. Die Gase suchen somit jeden ihnen zur Verfügung stehenden Raum vollkommen auszufüllen. Nur durch allseitigen äusseren Widerstand, durch äusseren Druck werden sie zusammengehalten. Da die Gase, wenn sie durch besondere äussere Kräfte zusammengedrückt worden sind, nach dem Aufhören der Wirksamkeit dieser Kräfte, sich wieder auf ihr früheres Volum ausdehnen, hat man sie auch elastische Flüssigkeiten genannt.

Adhäsion. Die Adhäsion ist die Kraft, mit welcher die Theilchen zweier Körper an einander haften, die sich innig berühren (d. h. so berühren, dass die molekularen Wirkungssphären beider Körper an der Berührungs- oder Grenzfläche in einander greifen).

Eine Adhäsion findet zwischen je zwei Körpern statt, mögen die Körper gleichartig oder ungleichartig sein; Bedingung ist nur, dass es zwei (getrennte) Körper sind.

In je mehr Punkten sich zwei Körper berühren, desto stärker ist die zwischen ihnen herrschende Adhäsion. Weiche Körper (z. B. Wachs, Harze, Pflaster!) adhären daher, da sie der Form anderer Körper sich anzuschmiegen im Stande sind, besser als harte Körper. Zwei Platten aus harten Körpern adhären an einander, wenn sie möglichst eben und fein geschliffen sind. — Anhängen des Staubes an Möbeln, Wänden, Zimmerdecke. Schreiben mit Bleistift, Kreide u. s. w. Galvanisches Vergolden und Versilbern. Anhaften der Zinnfolie an den gewöhnlichen Spiegeln.

Da pulverförmige Körper an glatten Flächen weniger leicht adhären als an rauhen, so werden feine Pulver in Kapseln aus möglichst glattem Papier dispensirt.

Flüssige Körper vermögen infolge ihrer Beweglichkeit — ihrer geringen Kohäsion — feste Körper in zahlreichen Punkten zu berühren; daher ist die Adhäsion zwischen beiden im Allgemeinen eine beträchtliche. Die Adhäsion lässt in diesem Falle deutlich erkennen, dass die beiden an einander adhärenenden Körper verschiedene Rollen spielen: der eine Körper erscheint dem andern angedrückt, während dieser sich mehr passiv — als Träger des ersteren — verhält. Ueber diese Beziehungen kann das Nähere erst zur Erörterung gelangen, nachdem der Begriff des specifischen Gewichts festgestellt ist. (Siehe später.)

Benetzung. Wenn bei der Adhäsion zwischen einem festen und einem flüssigen Körper der letztere dem ersteren angedrückt erscheint und in gewisser Menge daran hängen bleibt, so sagt man: der

festen Körper wird von dem flüssigen benetzt. So wird z. B. Glas von Wasser benetzt, von Quecksilber nicht; Wasser, auf eine saubere Glasplatte gebracht, breitet sich darauf aus, Quecksilber zieht sich in Kugelform zusammen. Trotzdem besteht zwischen Quecksilber und Glas Adhäsion; Beweis dafür ist der Umstand, dass eine gewisse Kraft erforderlich ist, um eine Glasplatte, welche eine Quecksilber-Oberfläche berührt, von letzterer abzureißen (158 g für eine kreisförmige Glasplatte von 118,366 mm Durchmesser).

Die Benetzung fester Körper durch flüssige ist die Ursache davon, dass Flüssigkeiten beim Ausgießen aus einem Gefässe oft an der Aussenwand desselben herablaufen, wenn nicht durch Anbringung eines Abgussrandes, einer Schnibbe (oder Tülle) oder eines Ausgussrohres dafür gesorgt ist, dass sich die

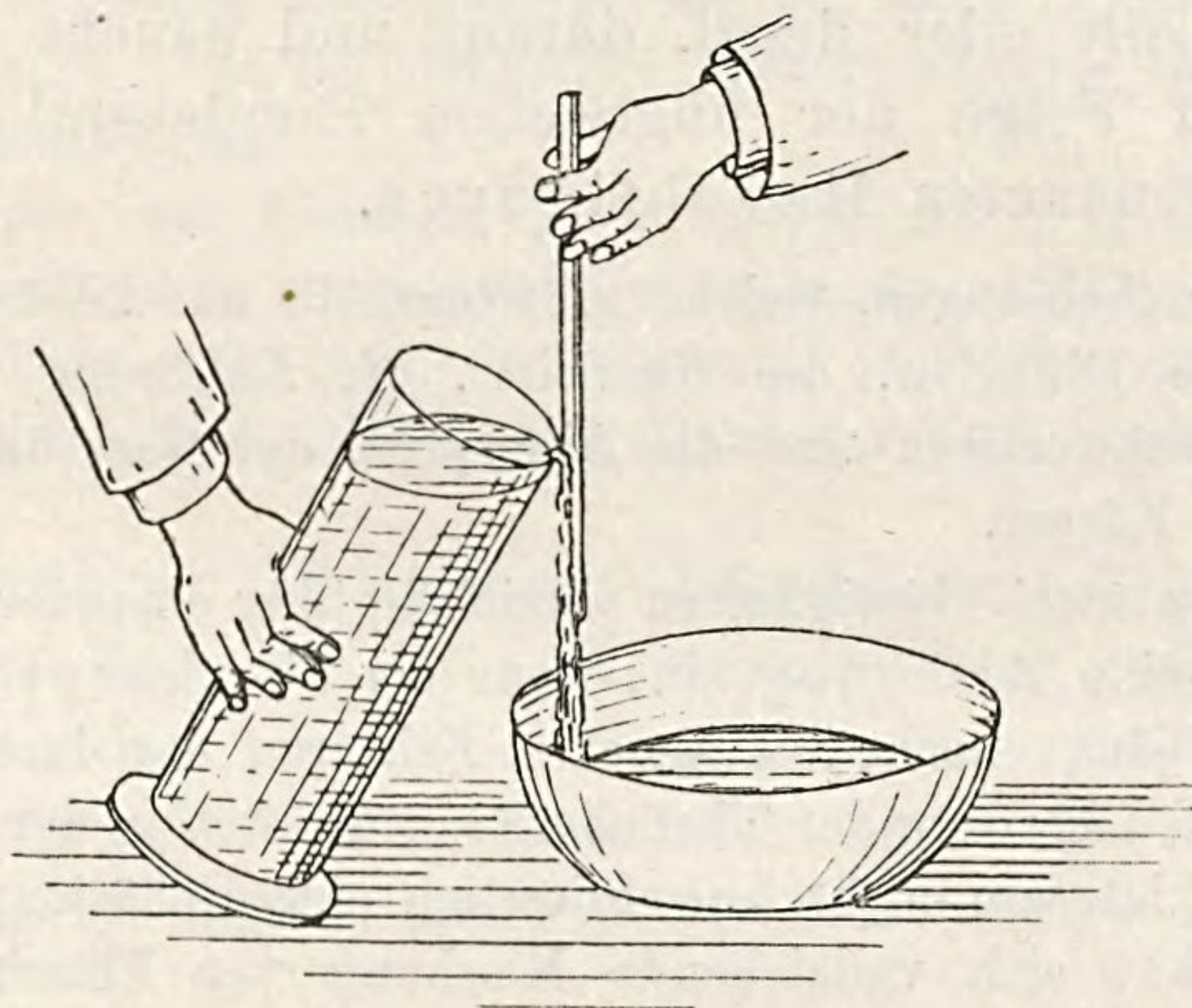


Fig. 2. Adhäsion beim Ausgießen von Flüssigkeiten.

Flüssigkeit zu einem mehr oder minder engen Strahl zusammenzieht. Der Gefahr des Vorbeilaufens der Flüssigkeit kann auch dadurch begegnet werden, dass man einen Glasstab, Holzstab, Spatel so gegen den Gefässrand hält, dass der Flüssigkeitsstrahl dem Stabe adhären kann. (Vergl. Fig. 2.)

Weitere Adhäsions-Erscheinungen. Das Schreiben mit Tinte, das Malen, sowie alles Kitten, Leimen und Kleben (mit Stärkekleister, Gummi arabicum u. s. w.) beruht auf Adhäsion, und zwar in erster Linie auf der Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern; dadurch, dass der Klebstoff, um eins der Beispiele herauszugreifen, in einer Flüssigkeit vertheilt wird, schmiegt er sich den Körpern, welche geklebt werden sollen, innig an und hält sie daher nach dem Trockenwerden fest zusammen. — Auch das Löthen gehört hierher.

Damit pulverförmige Körper nicht an Gefässen, in die sie geschüttet werden, hängen bleiben, müssen diese zuvor trocken ge-

wischt werden. Als Wischtuch dient ein leinenes Tuch, weil diesem die Feuchtigkeit besser adhärirt als einem baumwollenen oder wollenen.

Dass auch zwischen verschiedenen flüssigen Körpern Adhäsion stattfindet, sieht man daran, dass eine Flüssigkeit oft auf einer anderen aus einander fliesst und sie weit überzieht (z. B. Petroleum auf Wasser).

Endlich adhären auch die gasförmigen Körper sowohl an festen Stoffen wie an Flüssigkeiten. So haften Riechstoffe oft lange Zeit an und in Gefässen oder Seihetüchern trotz gründlichen Auswaschens. Auf Glasplatten, die längere Zeit im Laboratorium gelegen haben, lagert sich eine Gasschicht ab; zeichnet man mit einem Knochenstift oder dergl. darauf und haucht dann dagegen, so entstehen in Folge der ungleichen Kondensation des Wasserdampfes die sogenannten Hauchfiguren.

Besondere Erscheinungen, welche grösstentheils auf Adhäsion beruhen, sind die Mischung, die Diffusion, die Emulsion, die Auflösung fester Körper in flüssigen, das Aufschwemmen und die Absorption der Gase durch Flüssigkeiten und poröse (feste) Körper.

Schichtet man zwei Flüssigkeiten vorsichtig über einander, so tritt dennoch nach einiger Zeit eine Mischung ein, wenn sie überhaupt mischbar sind. Die Mischbarkeit hängt noch von anderen Faktoren der inneren Konstitution (Beschaffenheit und Lagerung der Theilchen) ab, die sich in der Zähigkeit u. s. w. offenbaren, welch' letztere nicht ausschliesslich eine Kohäsions-Erscheinung ist. — Die von selbst sich vollziehende Mischung von Flüssigkeiten wird als Diffusion bezeichnet. — Die gleichmässige Durchdringung und Mischung von Gasen heisst gleichfalls Diffusion. Nach dem Dalton'schen Gesetz breitet sich jedes Gas innerhalb eines andern allmählich ebenso aus, wie in einem leeren Raume. — Eine besondere, der völligen Mischung nicht gleichzusetzende Adhäsions-Erscheinung ist die Emulsion. Sie tritt ein, wenn man beispielsweise Oel und eine Lösung von Gummi arabicum durch Schütteln oder Rühren innig durch und in einander bringt; hierdurch löst sich das Oel in äusserst feine Tröpfchen auf, die sich in der wässrigen Flüssigkeit gleichmässig vertheilen. Die Milch ist eine Emulsion des Butterfettes in der wässrigen, Salze u. s. w. enthaltenden Milchflüssigkeit. In reinem Wasser vertheilt sich Oel nicht — wenigstens nicht dauernd — in gleicher Weise: die Adhäsion zwischen beiden Flüssigkeiten ist dazu zu gering.

Die Auflösung oder kurz Lösung von festen Körpern in Flüssigkeiten kommt (hinsichtlich der Innigkeit der Verschmelzung) einer Mischung zwischen zwei Flüssigkeiten gleich. Beide Arten von Vorgängen sind keine reinen Adhäsions-Erscheinungen, sondern stehen in gewisser Hinsicht den chemischen Vorgängen nahe, was man an den auftretenden Wärmeerscheinungen u. s. w. erkennt. Wenn sich beim Lösungsprocess concentrirtere (d. h. an gelöstem Stoff reichere) Schichten mit verdünnteren mischen, so entstehen infolge verschiedener Licht-

brechung Flüssigkeitsstreifen: die sogenannten Schlieren. Das Aufschwemmen oder Suspendiren besteht darin, dass man einen festen (oder auch flüssigen) Körper fein vertheilt mit einer Flüssigkeit mischt, in der er sich nicht löst. Man kann demnach auch sagen, dass in den Emulsionen eine Flüssigkeit in einer anderen suspendirt ist. — Besondere hierher gehörige Operationen sind das Schlämmen, Klären oder Schönen und das Decanthiren; beim Klären und Decanthiren handelt es sich darum, einen suspendirten Körper von seinem Suspensionsmittel zu trennen.

Einer Auflösung gleich zu erachten ist die Absorption der Gase durch Flüssigkeiten. Wasser absorbirt Luft, Kohlensäure und andere Stoffe. (Luftperlen in abgestandenem Wasser, Selterswasser.) Erhöhter Druck verstärkt die Auflöslichkeit der Gase in Flüssigkeiten, Erwärmung vermindert sie. Wasser absorbirt bei gewöhnlicher Temperatur und gewöhnlichem Atmosphärendruck etwa sein gleiches Volum Kohlensäure; bei doppeltem Atmosphärendruck sein doppeltes Volum u. s. f. In der Siedehitze verliert es alles absorbirte (oder verschluckte und gelöste) Gas.

Poröse Körper, wie Holzkohle, Platinschwamm u. a., verdichten manche Gase an ihrer Oberfläche in ausserordentlichem Maasse, oft bis zum Hundertfachen ihres eigenen Volums. (Döbereiner's Feuerzeug oder Wasserstoff-Zündmaschine.)

Körper, welche leicht Wasserdampf aus der Luft anziehen, heissen hygroskopisch.

Ein wesentlicher Unterschied besteht zwischen Adhäsion und Kohäsion nicht. Dies erhellt z. B. daraus, dass zwei durch starken Druck auf einander gepresste Bleiplatten oder zwei in der Glühhitze zusammengeschweisste Eisenstäbe sich zu einem einzigen festen Körper vereinigen: die Adhäsion zwischen beiden Körpern geht in Kohäsion über.

Veränderlichkeit des Körpervolums. Der Rauminhalt eines Körpers (oder sein Volum) kann auf mehrfache Weise verändert werden; hauptsächlich durch Druck und Wärme. Dass die Erscheinung überhaupt möglich ist, beruht darauf, dass zwischen den Theilchen, aus denen ein Körper zusammengesetzt ist, Zwischenräume vorhanden sind, die sich verkleinern und vergrössern können. Durch Vermehrung des äusseren Drucks ist es möglich, nicht nur den Rauminhalt (oder das Volum) eines Körpers unter Beibehaltung seiner Eigenschaften zu verkleinern, sondern auch den Körper aus einem Aggregatzustande in den benachbarten überzuführen: z. B. Wasserdampf zu verflüssigen. Dasselbe wird durch Entziehung von Wärme oder Abkühlung erreicht, während umgekehrt Zuführung von Wärme das Volum vergrössert, sowie den festen Aggregatzustand durch den flüssigen und schliesslich durch den gasförmigen zu ersetzen im Stande ist. Näheres hierüber sowie über wichtige Ausnahmen von diesem Verhalten der Körper gegenüber der Wärme bringt die Wärmelehre.

3. Krystallographie.

(Lehre von den Krystallformen.)

Krystallisation; Begriff des Krystalls. Wenn man einen festen Körper in einer Flüssigkeit, z. B. Alaun in Wasser, aufgelöst hat, so kann man jenen dadurch wieder erhalten, dass man die Flüssigkeit — das sogenannte Lösungsmittel — aus der Lösung beseitigt. Dies geschieht entweder durch offenes Stehenlassen der Lösung an der Luft — in diesem Falle verdunstet die Flüssigkeit allmählich — oder durch Erwärmen der Lösung, wobei die Flüssigkeit verdampft. Was im zweiten Falle die Wärme bewirkt, thut im ersten die Zeit.

Das Wiedererscheinen des festen Körpers in der Lösung nennt man das Ausscheiden desselben.

Vielfach beobachtet man, dass die festen Körper beim Ausscheiden aus einer Lösung bestimmte regelmässige Gestalten annehmen; dies ist z. B. beim Alaun der Fall, wenn er aus seiner wässrigen Lösung gewonnen wird. Ein Körper, der eine bestimmte, regelmässige, ihm eigenthümliche (oder wesentliche) äussere Gestalt besitzt, heisst ein Krystall; seine Gestalt wird als Krystallform bezeichnet. Körper ohne eine derartige bestimmte äussere Form nennt man amorphe Körper.

Zu der Begriffsbestimmung eines Krystalls gehören aber noch weitere Umstände. Ein krystallisirter Körper besitzt nicht nur eine bestimmte äussere Gestalt, die ihm eigenthümlich ist und mit seiner chemischen Natur im Zusammenhang steht, sondern es offenbart sich in ihm auch eine bestimmte gesetzmässige Anordnung seiner Moleküle oder grösserer Molekülgruppen (Molekular-Aggregate), und zwar insofern, als er nach gewissen Richtungen Unterschiede in der Elasticität und Kohäsion (Härte, Spaltbarkeit), in dem Verhalten gegen das Licht, die Wärme, die Elektrizität und den Magnetismus aufweist. Ein amorpher Körper ist nach allen Richtungen von gleichartiger Beschaffenheit.¹⁾

Ein und derselbe Körper kann im amorphen und im krystallisirten Zustande auftreten. (Beispiele: Schwefel, Kohlenstoff; Kieselsäure, kohlensaurer

¹⁾ Neuerdings hat O. Lehmann den Begriff des Krystalls etwas anders gefasst. Nach ihm ist ein Krystall jeder chemisch homogene (gleichartige) Körper, welcher bei Abwesenheit eines durch äussere oder innere Spannungen hervorgerufenen Zwanges anisotrop ist, d. h. nicht nach allen Richtungen hin die gleichen physikalischen Eigenschaften besitzt. Es giebt hiernach auch flüssige Krystalle. — Wir beschränken uns auf die oben gegebene Begriffsbestimmung.

Kalk u. a.) Es sind dann in beiden Zuständen die physikalischen Eigenschaften des Körpers verschiedene, so z. B. die Farbe, das Verhalten gegen den Eintritt und Durchtritt von Licht, die Wärmeleitung, die Löslichkeit in gewissen Mitteln u. s. w.

Unter geeigneten Bedingungen, häufig unter dem Einfluss der Wärme, vermag der eine Zustand in den andern überzugehen. So wird krystallisirter Schwefel durch Schmelzen und rasches Abkühlen amorph.

Körper, welche bei dem Mangel einer äusseren Krystallform doch eine regelmässige innere Struktur besitzen, oder welche aus unvollkommenen und in ihrer Form unbestimmbaren (kleinen) Krystallen zusammengesetzt sind, heissen krystallinische Körper. (Beispiele: Marmor = krystallinisches kohlensaures Calcium, Alabaster = krystallinisches schwefelsaures Calcium, Hutzucker.)

Sehr kleine Krystalle, welche in ihrer Zusammenhäufung einem Pulver gleichen, nennt man Krystallmehl (auch krystallinisches Pulver).

Nicht immer entstehen die Krystalle durch Ausscheidung aus einer Lösung. Andere Entstehungsarten sind die Erstarrung (d. h. das Festwerden) flüssiger Körper und die Erstarrung gasförmiger Körper oder die Sublimation. Der Schnee bildet sich beispielsweise in Folge von Erstarrung atmosphärischen Wassers.

Jedes Lösungsmittel vermag nur eine gewisse Menge eines festen Körpers zu lösen, die ausser von der Natur des Lösungsmittels und des gelösten Stoffes auch von dem Wärmegrade oder der Temperatur abhängig ist. Eine Lösung, welche die grösstmögliche Menge des gelösten Stoffes enthält, heisst gesättigt. — Als Löslichkeit bezeichnet man die Fähigkeit eines festen Körpers, sich in gewisser Menge in einer Flüssigkeit zu lösen. — Die Löslichkeit der meisten Stoffe wächst mit steigender Temperatur des Lösungsmittels. Aus einer gesättigten Lösung erhält man daher im Allgemeinen den gelösten Körper durch Abkühlung. Körper, deren Löslichkeit in einem gewissen Lösungsmittel mit steigender Temperatur nicht zunimmt (z. B. Kochsalz in Wasser), können nicht durch Abkühlen, sondern nur durch Verdampfen des Lösungsmittels — durch Abdampfen der Lösung — zum Ausscheiden bzw. Auskrystallisiren gebracht werden.

Je langsamer und ungestörter die Ausscheidung eines gelösten Stoffes erfolgt, desto grösser und schöner werden die entstehenden Krystalle. Solche Krystalle schliessen aber mehr von dem Lösungsmittel nebst den etwa sonst noch darin enthaltenen Stoffen — mehr von der sogenannten Mutterlauge — in sich ein als das Krystallmehl. Da letzteres somit reiner ist, wird seine Bildung häufig dadurch absichtlich herbeigeführt, dass man die erkaltende Lösung mit einem Stabe lebhaft umrührt.

Vielfach enthalten die Krystalle eine gewisse Gewichtsmenge Wasser, das sie nicht nur mechanisch einschliessen, sondern mit dem sie nach der Art der Lösung verbunden sind. Das Verwittern mancher Krystalle besteht darin, dass dieselben beim Liegen in trockener Luft ganz oder theilweise ihr Krystallwasser verlieren. Soda, Bittersalz, Glaubersalz verwittern nach und nach vollständig, indem sie in ein weisses Pulver zerfallen, wobei sie die Hälfte ihres ursprünglichen Gewichtes einbüssen. Andere Krystalle verlieren ihr Krystallwasser erst, wenn sie erwärmt werden; in der Siedehitze des Wassers geben die meisten Krystalle ihr Krystallwasser ab; einige Körper behalten aber auch dann noch einen Rest desselben, wie Alaun, Eisenvitriol u. a.; erst in schwacher Glühhitze geht auch ihnen die letzte Spur des Krystallwassers verloren. In vielen Fällen ist mit dem Verlust des Krystallwassers ein Farbenwechsel verbunden; der wasserfreie Körper erscheint weiss oder doch weisslich gefärbt; recht auffallend zeigt sich das am Kupfervitriol.

Krystallform. Die Krystallform eines Körpers kommt dadurch zu Stande, dass der Körper von einer bestimmten Anzahl von Flächen begrenzt wird, die unter bestimmten Winkeln gegen einander geneigt sind und bestimmte physikalische (unter einander gleiche oder ungleiche) Beschaffenheit haben.

Die Gestalt der Flächen kommt erst in zweiter Linie in Betracht; sie ist veränderlich und mithin unwesentlich.

Eine jede Krystallfläche wird theoretisch als eine Ebene betrachtet; in Wirklichkeit ist sie keineswegs unbedingt eine Ebene, sondern sie kommt einer solchen nur bald mehr, bald weniger nahe.

Jeder Fläche am Krystall entspricht eine Parallelfäche (eine Ausnahme hiervon machen gewisse halbflächige Krystalle oder Halbflächner); und nicht nur an der Aussenseite eines Krystalls hat jede Fläche und ihre Parallele ein Dasein, sondern auch überall im Innern, in paralleler Lage. Dem entsprechend vermag ein Krystall in seiner Mutterlauge durch Anlagerung neuen Stoffes an die Flächen (und somit Bildung neuer Aussenflächen) zu wachsen. — Wenn man einen Krystall parallel einer seiner Flächen theilt, so hat man die Bruchstücke (Spaltungsstücke) ihrem Wesen nach nicht als Theile, sondern als vollständige Krystalle zu erachten. Die dabei entstehenden Spaltungsflächen sind die den ursprünglichen äusseren Flächen des Krystalls entsprechenden inneren Flächen, die nun zu äusseren Begrenzungsflächen geworden sind. Hat ein Krystall Sprünge, so lassen sich die späteren Spaltungsflächen bereits im Innern des Krystalls erkennen, ehe derselbe in Stücke zerfallen ist.

Längs der Spaltungsrichtungen ist die Kohäsion eine geringere als nach den übrigen Richtungen im Krystall; und hierin hat die Spaltbarkeit ihren Grund. (Vergl. S. 13.) Nach den verschiedenen, durch die äusseren Krystallflächen dargestellten Richtungen ist die Spaltbarkeit häufig ungleich gross; bisweilen ist die Spaltbarkeit in gewissen Richtungen so gering, dass den äusseren Flächen überhaupt keine Spaltungsfläche entspricht. Spaltungsrichtungen von gleicher Vollkommenheit sind äusseren Flächen von gleicher physikalischer Beschaffenheit parallel.

Je zwei zusammenstossende Krystallflächen bilden eine Kante; drei oder mehr zusammenstossende Kanten bilden eine Ecke. An der Bildung einer Ecke betheiligen sich ausser den Kanten die zwischen ihnen liegenden Flächen, und zwar sind dies mindestens drei.

Der Winkel zwischen zwei längs einer Kante zusammenstossenden Flächen heisst Kantenwinkel. Die Kantenwinkel der Krystalle haben bestimmte (konstante) Werthe. Sie sind von hervorragender Wichtigkeit für die Erkennung der Krystallform. (Siehe S. 20.) Sie werden mit dem Goniometer gemessen.

Ein von zwei zusammenstossenden Kanten gebildeter Winkel heisst Flächenwinkel, weil sein Winkelraum in einer Krystallfläche liegt.

Man theilt die Krystallformen in einfache und zusammengesetzte ein, je nachdem alle Flächen des Krystalls einander gleichwerthig (von gleicher physikalischer Beschaffenheit) sind, oder (physikalisch) verschiedenartige Flächen an demselben Krystall vorkommen. Die zusammengesetzten Formen heissen auch Kombinationen; sie lassen sich als aus mehreren einfachen Krystallformen zusammengesetzt betrachten.

Krystallsysteme. Alle diejenigen einfachen Krystallformen, deren Kombinationen an demselben Krystall vorkommen können, lassen sich auf geometrischem Wege (durch Abstumpfen oder Zuschärfen der Kanten, Abstumpfen, Zuschärfen oder Zuspitzen der Ecken) von einer gemeinsamen Grundform ableiten. Sie werden zu einem besonderen Krystallsystem vereinigt. — Auf diese Weise gelangt man zur Aufstellung von sechs verschiedenen Krystallsystemen.

Zum besseren Verständniss der verschiedenen Formen eines und desselben Krystallsystems und ihrer Beziehungen zu einander, sowie zur deutlicheren Hervorhebung der Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Systeme denkt man sich im Innern der Krystalle gewisse gerade Linien — die Krystallachsen oder kurz Achsen — gezogen, welche entweder zwei gegenüberliegende Ecken oder die Mitten gegenüberliegender Flächen oder Kanten verbinden. Die Achsen innerhalb eines Krystalls schneiden sich in einem Punkte und bilden zusammen das Achsenkreuz. Ihre Anzahl ist drei oder vier. Eine durch zwei Achsen gelegte Ebene heisst Achsen-ebene.

Eine bestimmte Krystallform wird auf die Weise gekennzeichnet, dass man die Lage ihrer Flächen zu den Achsen angiebt.

Ehe wir an die Betrachtung der verschiedenen Krystallsysteme und ihrer Krystallformen gehen, müssen wir noch des Begriffs der Zone und der Zonenachse Erwähnung thun.

Eine Zone bilden solche Flächen eines Krystalls, welche sich in parallelen Kanten schneiden. Jede dieser Kanten sowie jede ihnen parallele Linie heisst eine Zonenachse.

Die Krystallachsen sind gewissen Zonenachsen parallel, bezw. fallen mit ihnen zusammen.

Eine Gesammtheit von zwei oder mehr Flächen nebst ihren Gegenflächen oder Parallelfächen, welche zu einer und derselben Zone gehören, heisst ein Prisma. Ein Prisma ist ein offener Krystallraum. Es wird zu einer geschlos-

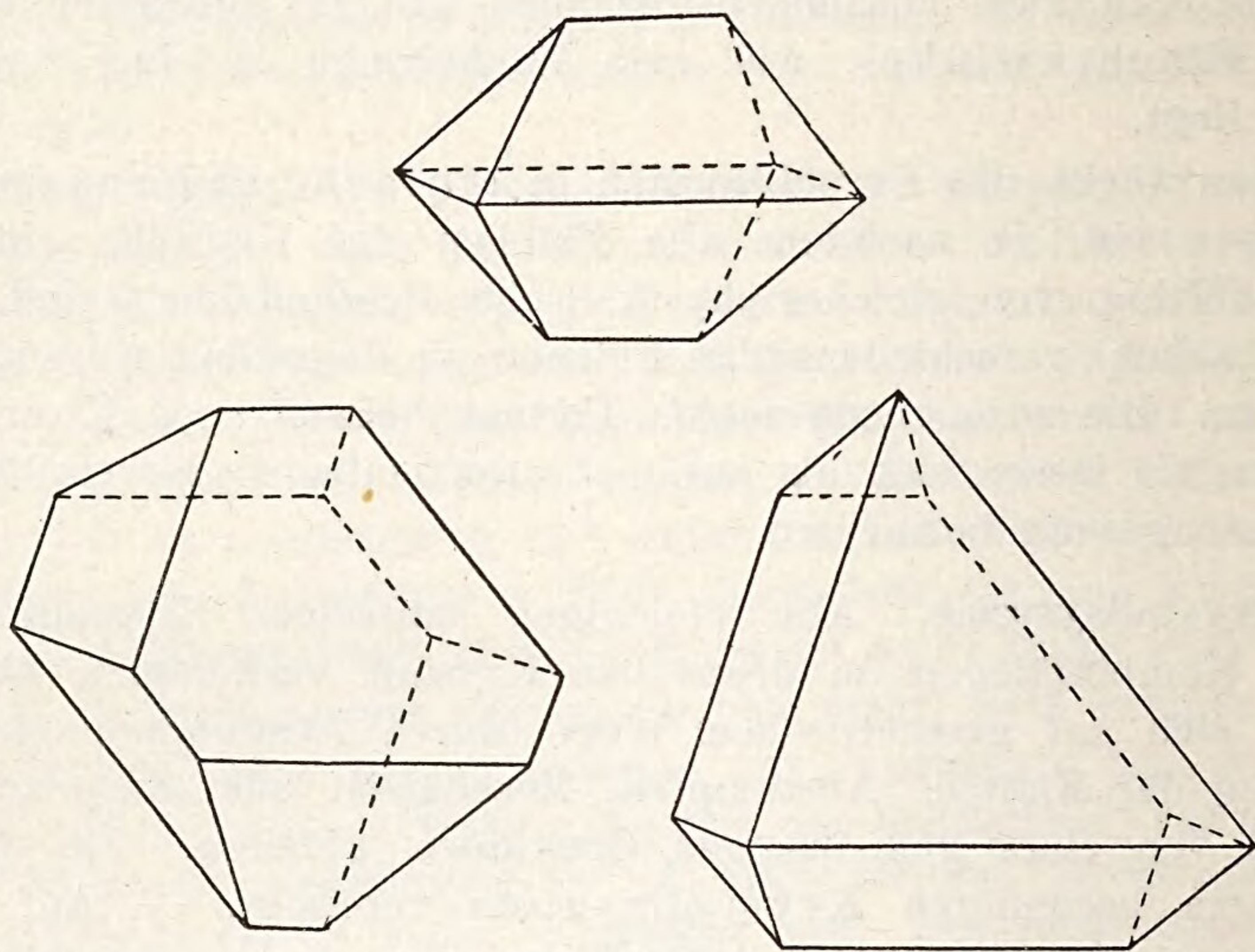


Fig. 3a—3c. Verschieden gestaltete Alaunkrystalle.

senen Form, wenn noch eine Fläche (nebst Gegenfläche) hinzutritt, die alsdann mit jeder Prismenfläche (nebst Gegenfläche) eine neue Zone bildet. Ein jeder Krystall wird hiernach von mindestens drei Flächen (nebst ihren Gegenflächen) gebildet. Bei den Halbflächenern können die Gegenflächen fehlen; sie werden durch mindestens vier (einfache) Flächen gebildet.

Wenn man sich die Flächen eines Krystalls in dem Maasse vergrössert bezw. verkleinert (und zugleich die Parallelfächen einander genähert bezw. von einander entfernt) denkt, dass alle gleichwerthigen Flächen die gleiche Gestalt und Grösse erhalten, so hat man die ideale Krystallform des betreffenden Körpers vor sich. Da solche idealen Krystallformen aber in der Natur garnicht oder bloss ausnahmsweise vorkommen, darf man die in der Mehrzahl wirklich anzutreffenden Formen nicht als Verzerrungen bezeichnen und ihr Studium nicht vernachlässigen. — Aus Raumangel werden wir jedoch im Folgenden nur den idealen Krystallformen unsere Aufmerksamkeit zuwenden. Die Figuren 3a, 3b und 3c

zeigen drei Krystallformen des Alauns, wie sie die Wirklichkeit häufig darbietet; Fig. 4 ist die ideale Krystallform des Alauns.

Unter der Voraussetzung, dass wir es mit idealen Krystallformen zu thun haben, können wir nach der Anzahl, der gegenseitigen Stellung und dem Längenverhältniss der Krystallachsen die folgenden sechs Krystallsysteme unterscheiden (siehe S. 21):

1. Das reguläre, gleichachsige oder gleichgliedrige System. — Drei gleichlange, einander rechtwinklig schneidende Achsen. — Die Symmetrie der Krystalle ist in Bezug auf jede der drei Achsenebenen, oder, was dasselbe besagt, in der Richtung jeder der drei Achsen die gleiche.

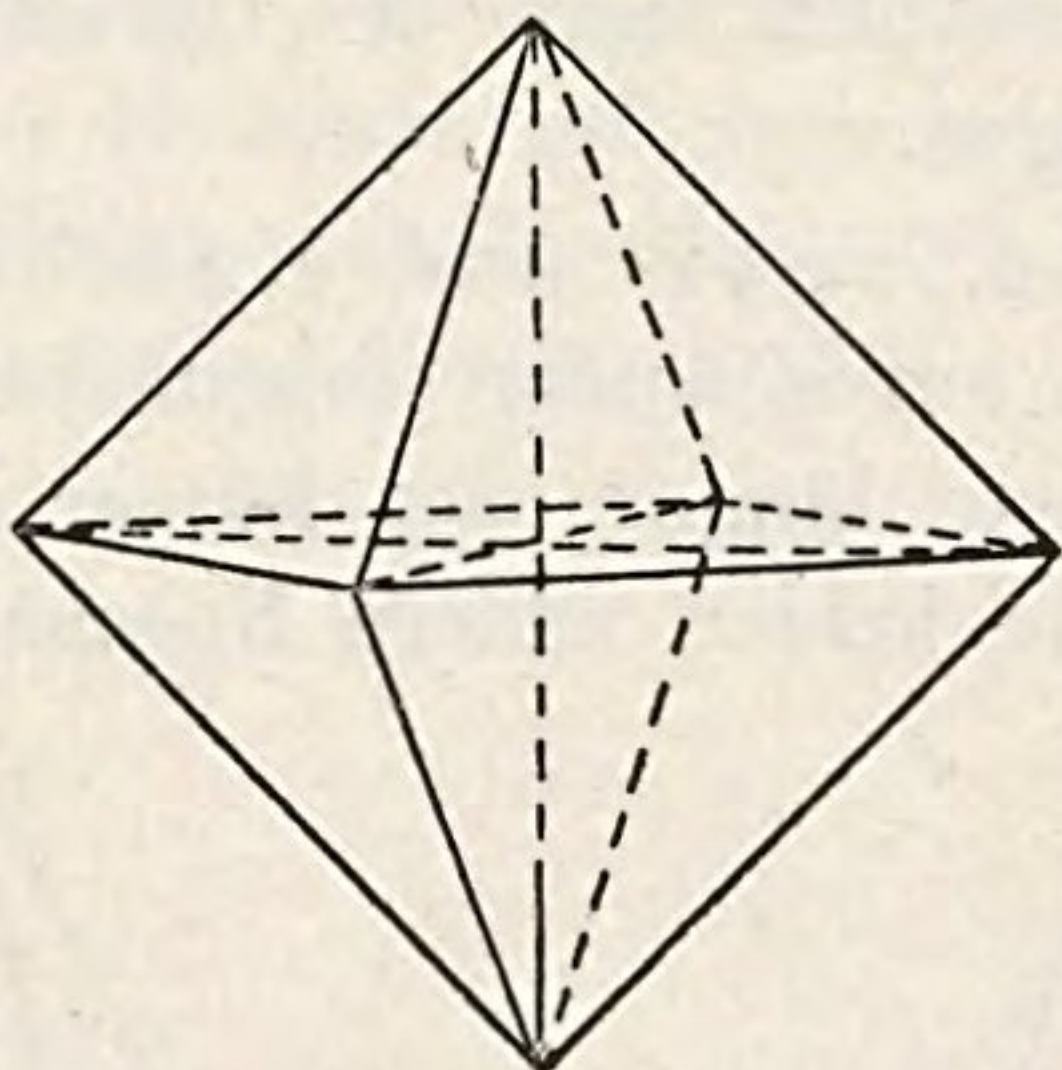


Fig. 4. Ideale Krystallform des Alauns. — Oktaëder.

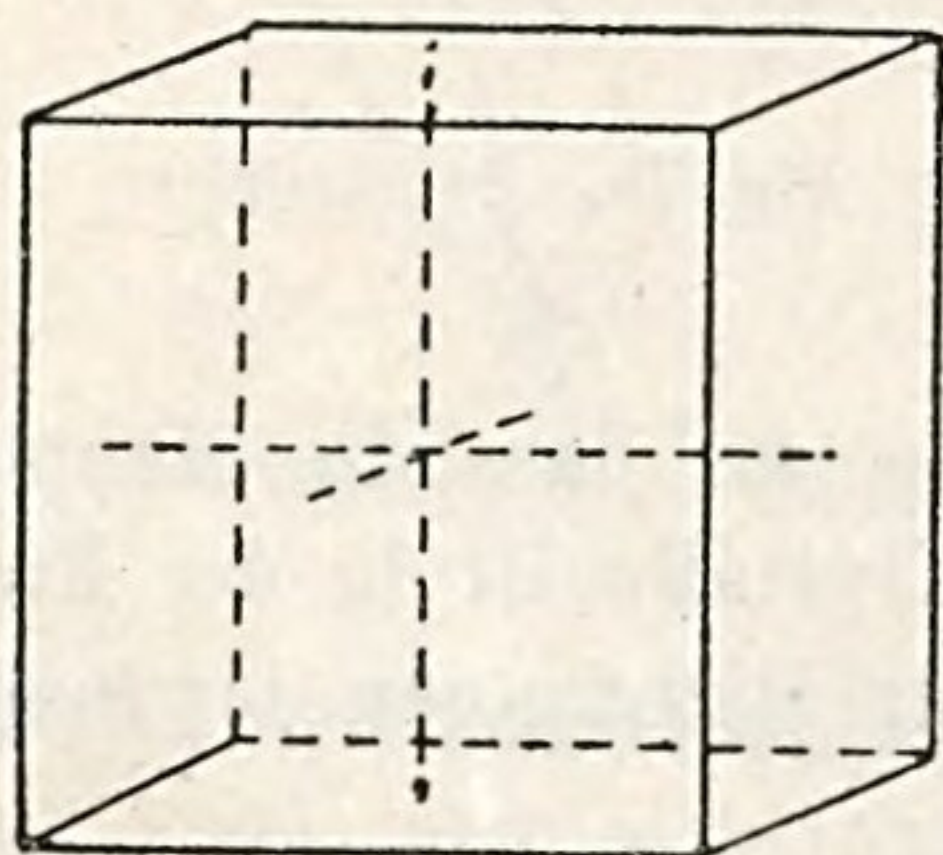


Fig. 5. Würfel.

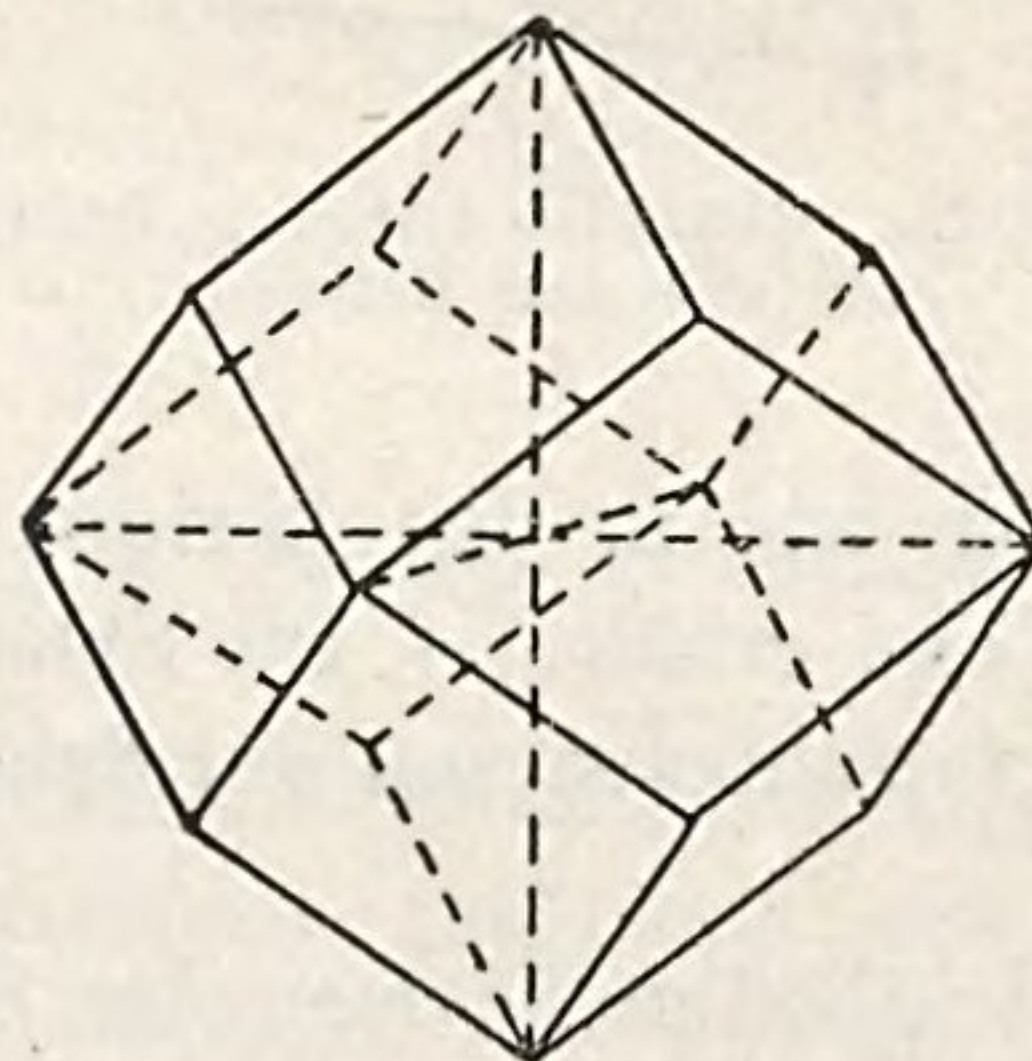


Fig. 6. Granatoëder.

A. Vollflächner.

Die wichtigsten Formen dieses Systems sind:

a) Das reguläre Oktaëder, begrenzt von 8 gleichen, gleichseitigen Dreiecken; die Achsen verbinden je zwei gegenüberliegende Ecken mit einander. (Alaun.) Fig. 4, sowie Fig. 3a, 3b und 3c.

b) Der Würfel (Kubus) oder das reguläre Hexaëder, begrenzt von 6 gleichen Quadraten; die Achsen verbinden die Mitten je zweier gegenüberliegender Flächen mit einander. (Kochsalz, Jodkalium.) Fig. 5.

c) Das Granatoëder oder Rhombendodekaëder, begrenzt von 12 gleichen Rhomben; der Körper hat zwei Arten von Ecken; die Achsen verbinden je zwei gegenüberliegende vierkantige (oder Oktaëder-) Ecken mit einander. (Granat.) Fig. 6.

B. Halbflächner. Die Halbflächner oder hemiëdrischen Formen kann man sich aus vollflächigen oder holoëdrischen Formen auf die Weise entstanden denken, dass die abwechselnden Flächen eines Vollflächners sich bis zum Verschwinden der übrigen — zwischenliegenden — Flächen (also der Hälfte aller Flächen) ausdehnen.

Aus dem regulären Oktaëder entsteht auf diese Weise

das Tetraëder; dasselbe ist also der Halbflächner des Oktaëders. Es wird von 4 gleichen, gleichseitigen Dreiecken begrenzt. Es ist nicht parallelflächig; die Achsen verbinden die Mitten der Kanten. Fig. 7a und 7b. (Fig. 7a zeigt die Entstehung bzw. Ableitung des Tetraëders aus dem Oktaëder; die Flächen *a*, *b* und eine auf der Rückseite des Oktaëders befindliche wachsen bis zum Verschwinden der übrigen.)

2. Das quadratische, zwei- und einachsige oder viergliedrige System. — Drei senkrecht auf einander stehende Achsen, von denen zwei einander gleich sind, die dritte länger oder kürzer ist als jene. Die ungleiche Achse heisst Hauptachse, die beiden andern Nebenachsen. Man stellt die Kry-

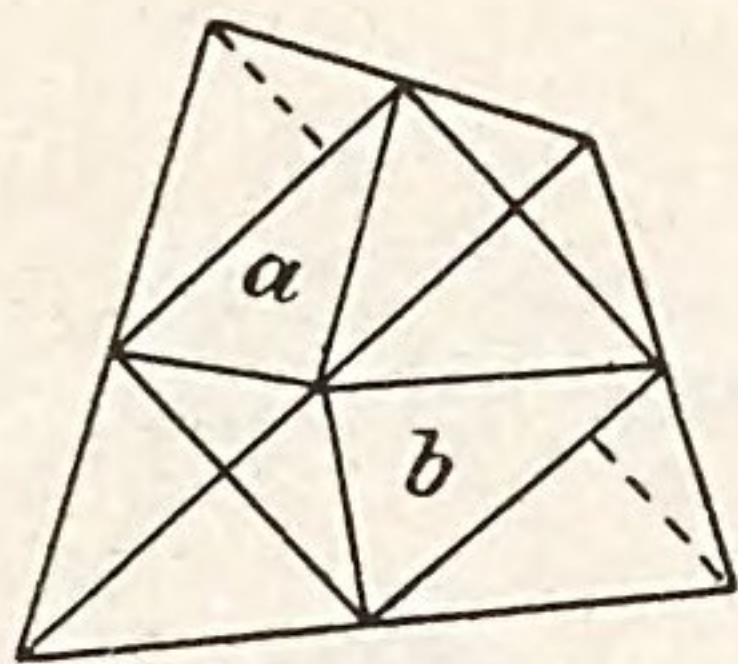


Fig. 7a. Oktaëder mit dem daraus entstehenden Tetraëder.

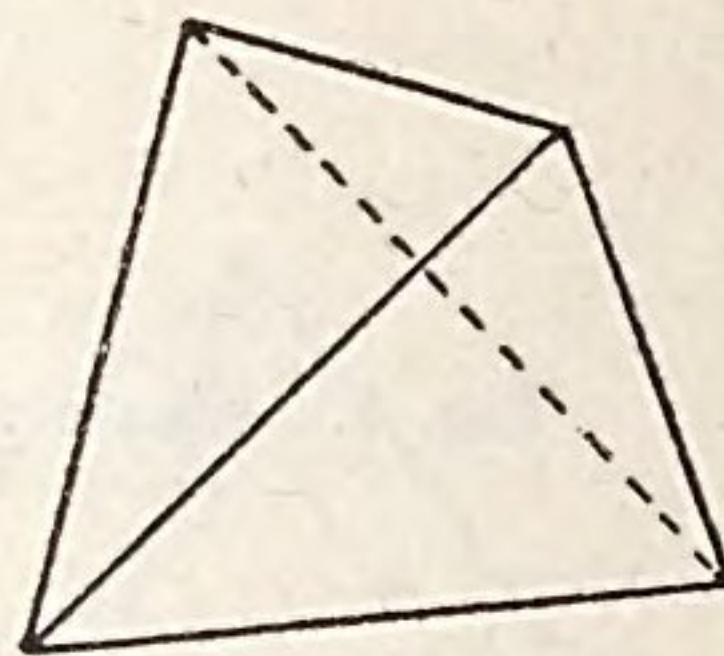


Fig. 7b. Tetraëder.

stalle — hier wie in den übrigen Systemen — so, dass die Hauptachse eine senkrechte Lage erhält. — Die Symmetrie der Krystalle ist in der Richtung der Hauptachse verschieden von der Symmetrie in den Richtungen der beiden Nebenachsen.

Die wichtigsten Formen des Systems sind:

Das Quadratoktaëder, welches auch als eine vierseitige Doppelpyramide mit quadratischer Grundfläche angesehen werden kann. Es hat zweierlei Kanten (Mittel- und Endkanten) und zweierlei Ecken (Mittel- und Endecken).

Je weniger die Hauptachse von den Nebenachsen verschieden ist, um so mehr gleicht ein Quadratoktaëder dem regulären Oktaëder (um so geringer wird der Unterschied zwischen den Mittel- und den Endkantenwinkeln). (Zinnstein.) Fig. 8a und 8b.

Die quadratische Säule (oder das quadratische Prisma) ist für sich eine offene Krystallform und besitzt vier zur Hauptachse parallele [Krystallflächen. Begrenzt kann es oben und unten werden durch eine vierseitige Pyramide (Kombination mit dem Quadratoktaëder) oder durch die Endflächen (Pinakoïd), die zu beiden Nebenachsen parallel sind. Die letztere Kombination (quadratische Säule mit Endflächen) kann genau das Aussehen eines — nicht idealen — Würfels haben; doch sind die Endflächen physikalisch verschieden von den Säulenflächen.

3. Das rhombische, ein- und einachsige oder zweigliedrige System. — Drei senkrecht auf einander stehende Achsen, die alle verschieden lang sind. Eine derselben — gleichgiltig, welche — wird als Hauptachse angesehen, die beiden andern als Nebenachsen. — Die Symmetrie der Krystalle ist in allen drei durch die Achsen angegebenen Richtungen verschieden. Es giebt somit drei verschiedene Symmetrieebenen (Achsenebenen).

In diesem System krystallisiren:

Schwefel (Rhombenoktaëder), Bittersalz (rhombische Säule), Schwerspath, Kalisalpeter u. v. a.

4. Das monokline, zwei- und eingliedrige oder klinorhombische System. — Drei verschieden lange Achsen, von denen zwei senkrecht auf einander stehen, während die dritte auf einer von jenen senkrecht, aber schief auf der anderen steht. — Nennt man die drei Achsen a , b und c und stehen a und b sowie b und c aufeinander senkrecht, a und c aber nicht, so theilt nur die

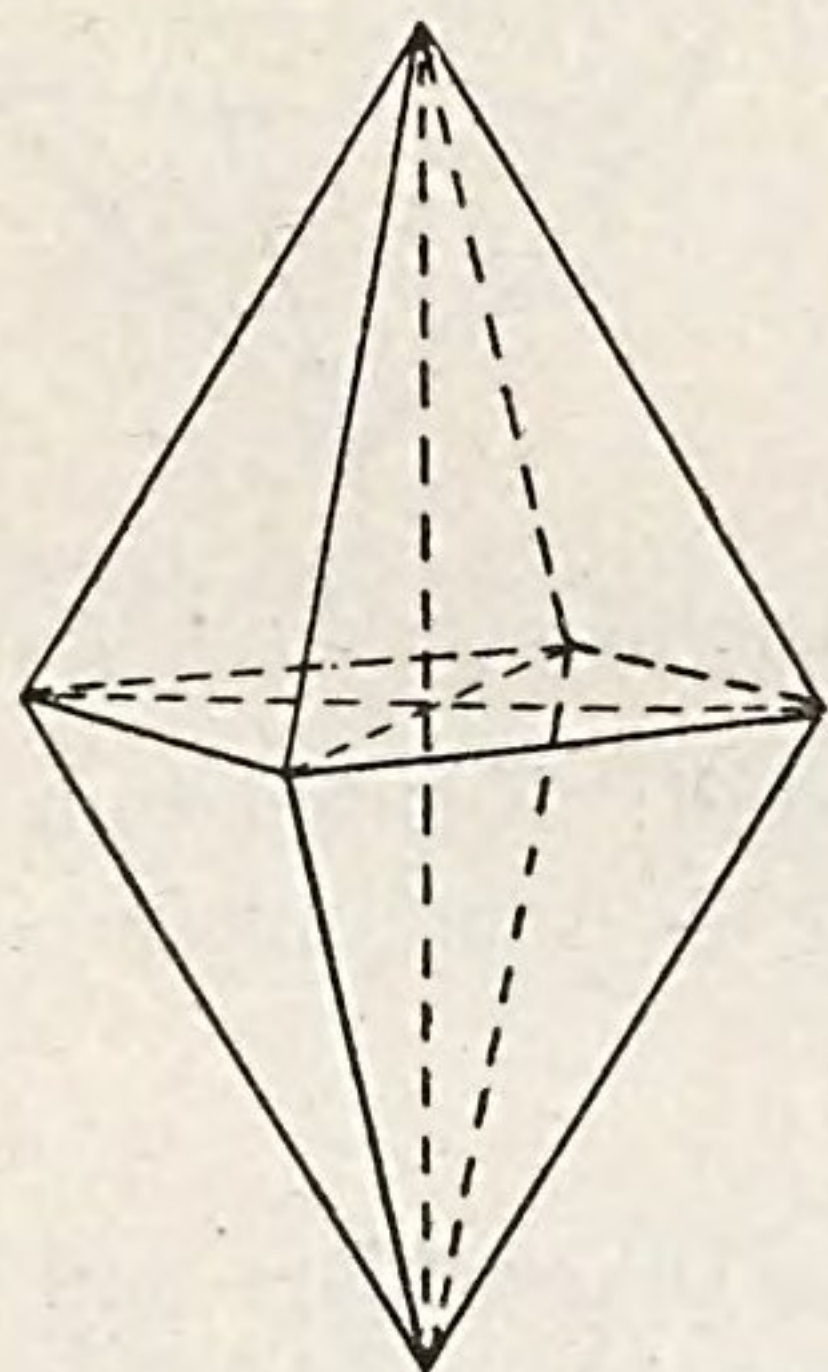


Fig. 8a. Spitzes Quadratoktaëder.

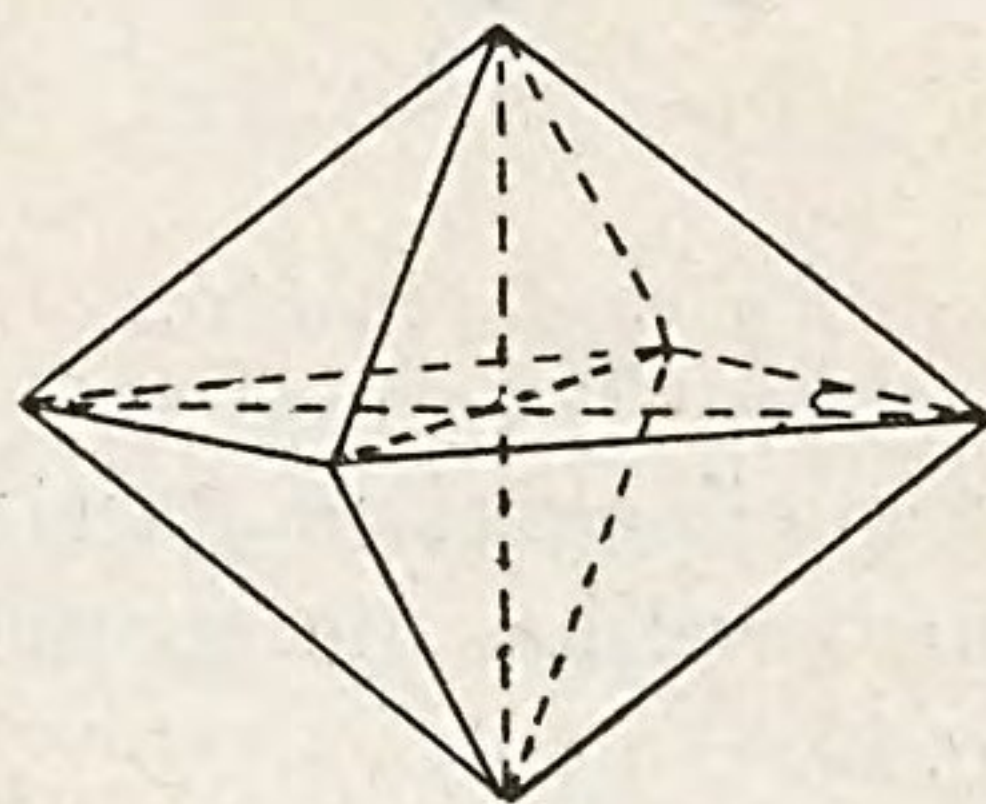


Fig. 8b. Stumpfes Quadratoktaëder.

Achsenebene ac einen diesem System angehörenden Krystall in zwei symmetrische Hälften; es giebt also nur eine Symmetrieebene (ac), und nur beiderseits dieser stellt der Krystall zwei Glieder (symmetrische Hälften) dar; beiderseits der anderen Achsenebenen zeigt er je ein Glied. (Augit, Feldspath, Gips, Glaubersalz, Soda, Zucker u. a.)

5. Das triklone, eingliedrige oder klinorhomboidische System. — Drei verschieden lange Achsen, die sämtlich schiefwinklig auf einander stehen. — (Kupfervitriol.)

6. Das hexagonale oder drei- und einachsige oder sechsgliedrige System. — Vier Achsen, von denen drei gleich lang sind, in einer Ebene liegen und sich unter Winkeln von 60° schneiden, während die vierte von jenen verschieden ist und senkrecht auf ihnen steht; die letztere wird als Hauptachse angesehen. — Die Symmetrie der Krystalle ist in drei Richtungen, die in einer Ebene liegen, die gleiche; diese Ebene ist die Ebene der Nebenachsen, sie steht senkrecht zur Hauptachse. Die Hauptachse selbst bezeichnet eine andere Symmetrierichtung; sie ist zugleich in optischer Hinsicht ausgezeichnet (optische Achse). — Die Krystalle dieses Systems haben wie die des viergliedrigen kein vorn und hinten, kein rechts und links, sie können vielmehr um

die Hauptachse um 60° (die viergliedrigen Krystalle um 90°) gedreht werden, ohne ihre Stellung zu ändern.

Die wichtigsten Formen dieses Systems sind:

A. Vollflächner.

a) Das Dihexaëder, begrenzt von 12 gleichen, gleichschenkligen Dreiecken; zweierlei Kanten und zweierlei Ecken. (Quarz.) Fig. 9.

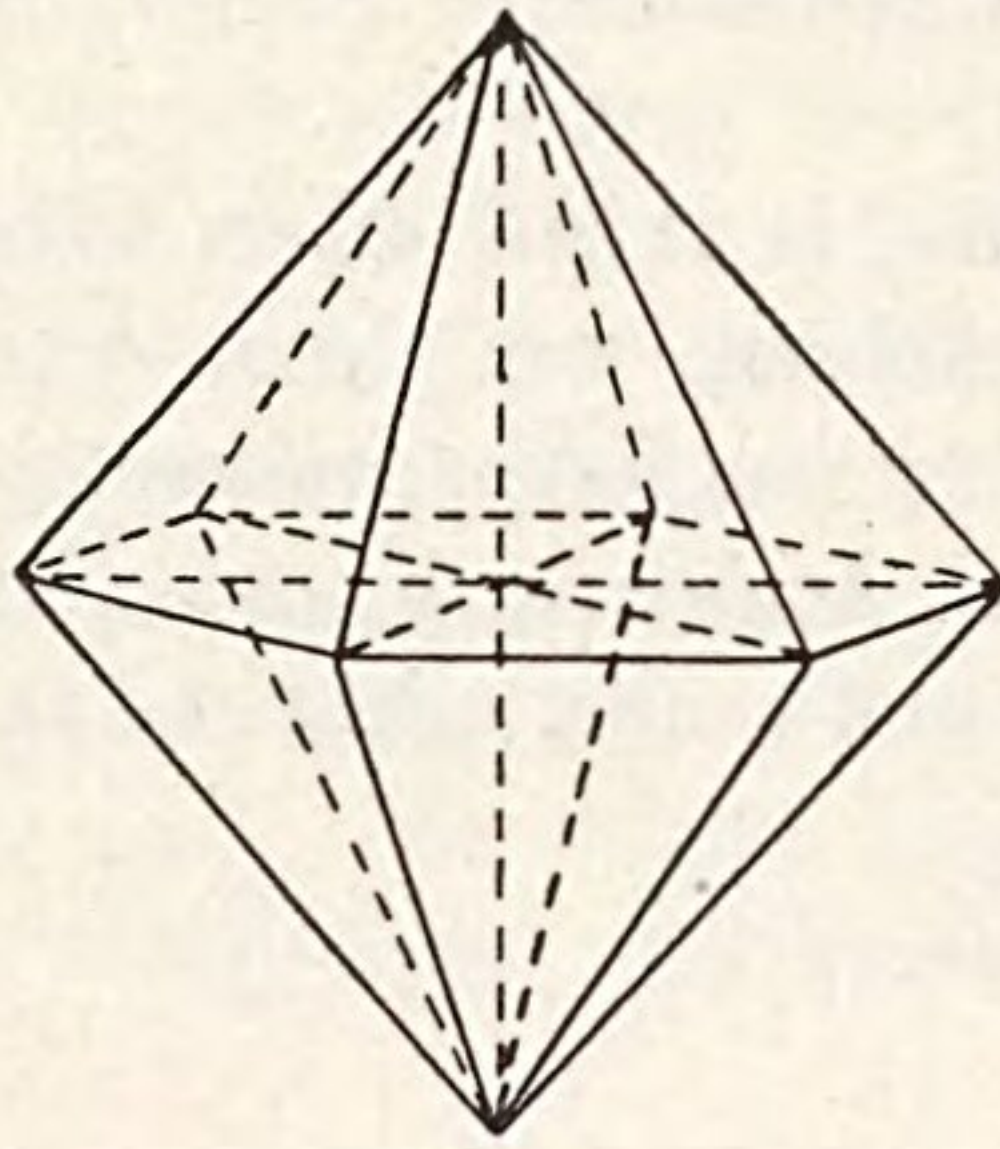


Fig. 9. Dihexaëder.

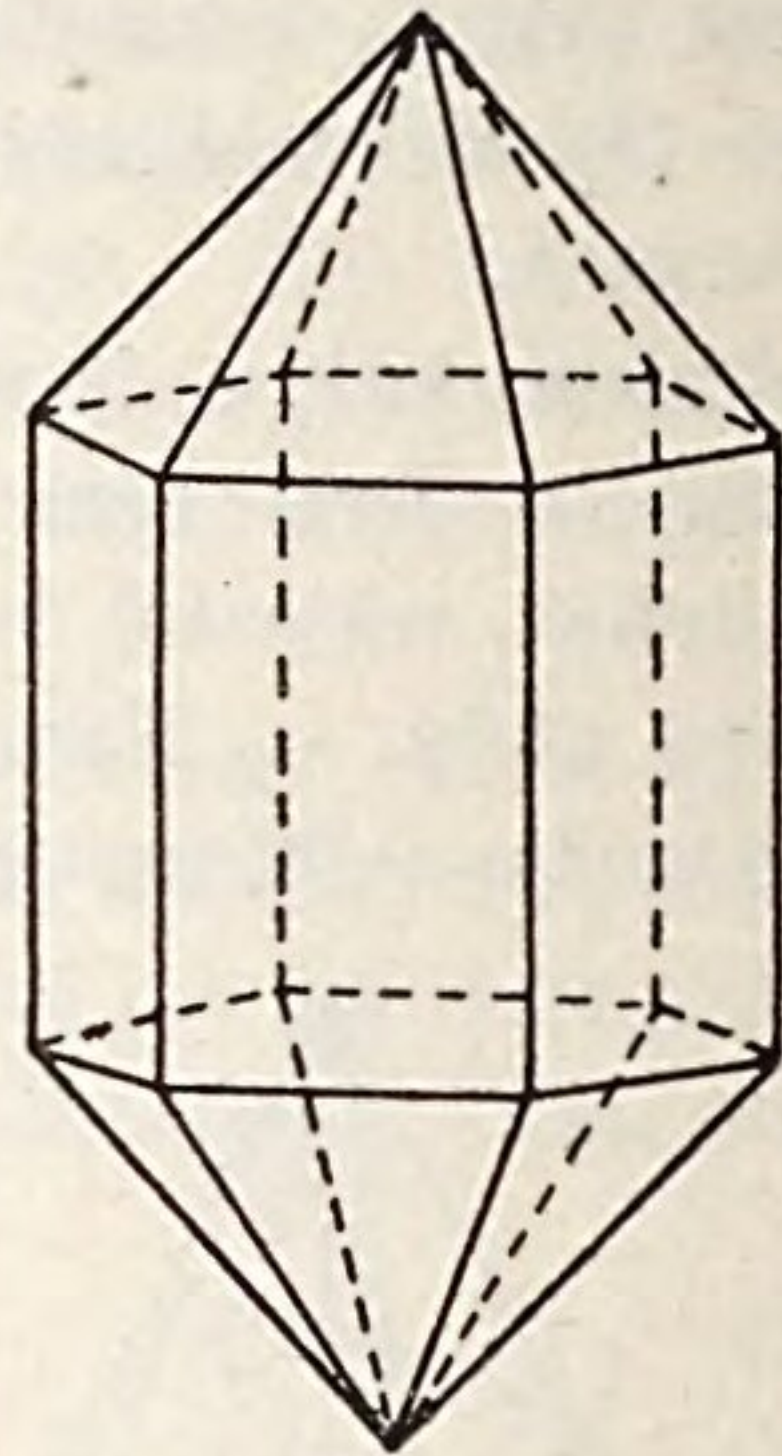


Fig. 10. Bergkrystall.
(Sechsseitige Säule mit Dihexaëder.)

b) Die sechsstellige Säule. (Bergkrystall: Kombination mit dem Dihexaëder, durch welches die an sich offene Säule oben und unten einen Abschluss erhält.) Fig. 10.

B. Halbflächner.

Das Rhomboëder ist der Halbflächner des Dihexaëders und wird begrenzt von 6 gleichen Rhomben (Fig. 11a und 11b). Das Rhomboëder in Fig. 11a entsteht durch Wachsen der Flächen a , b , c und drei auf der Rückseite des Dihexaëders befindlicher Flächen, die übrigen Flächen verschwinden. (Kalkspath.)

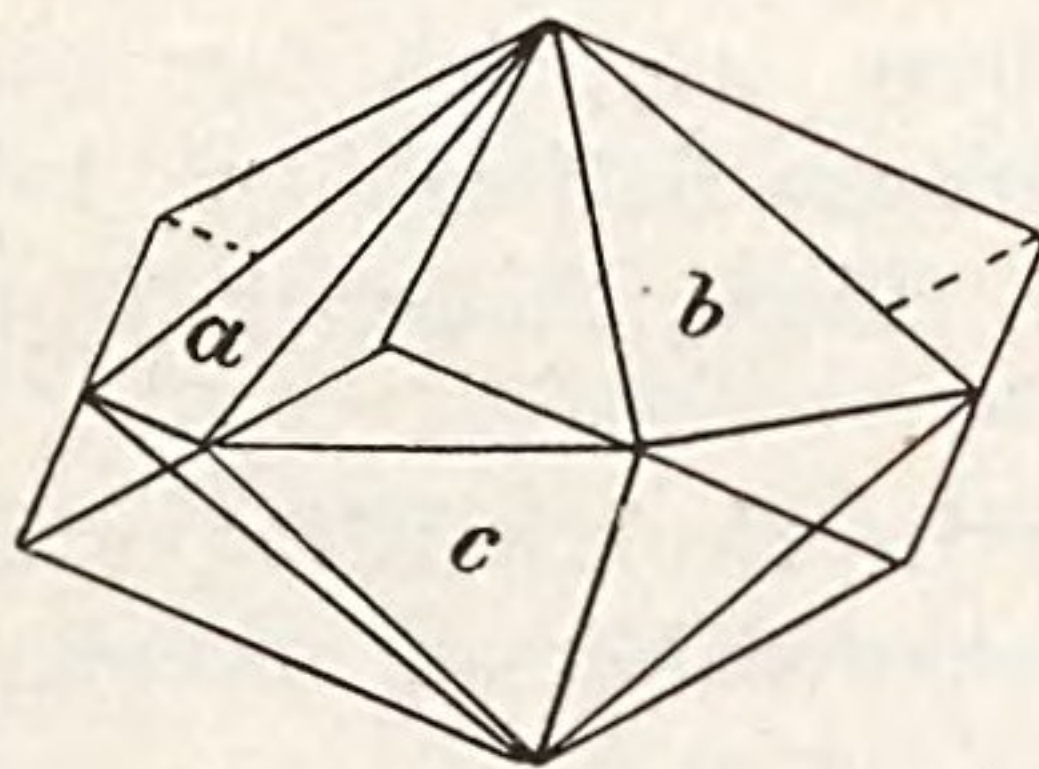


Fig. 11a. Dihexaëder mit dem daraus entstehenden Rhomboëder.

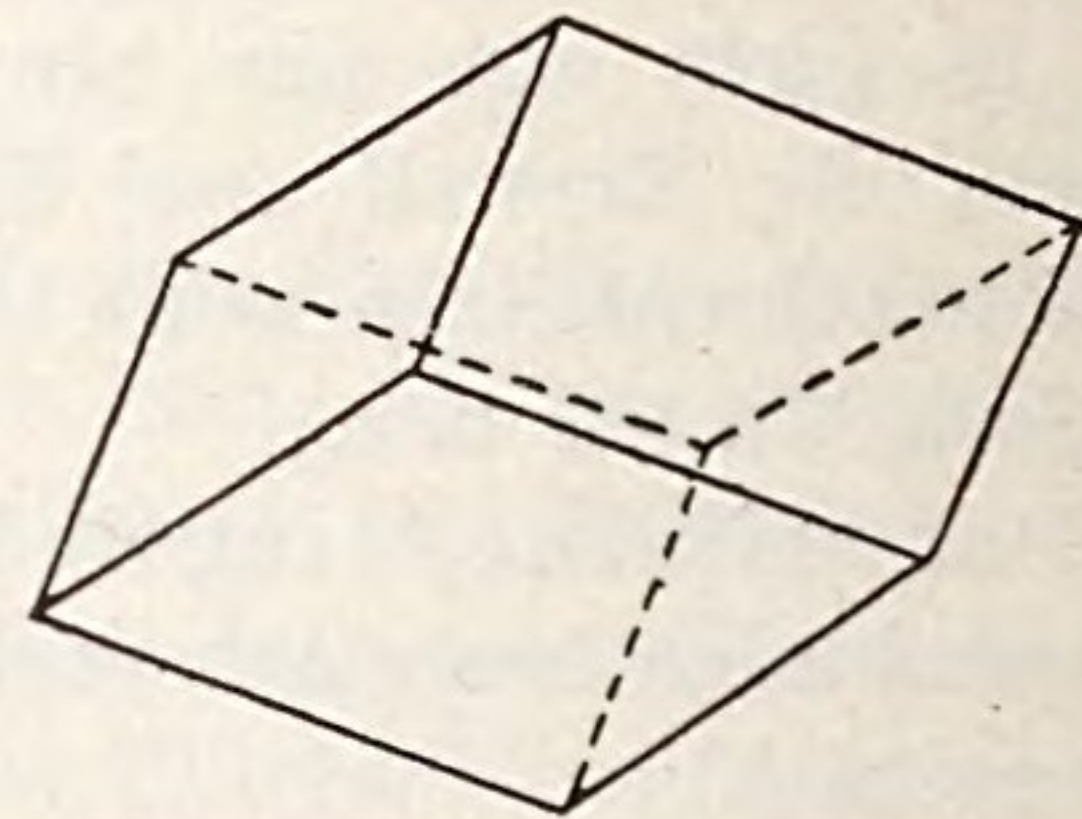


Fig. 11b. Rhomboëder.

Dimorphie und Isomorphie. Für die meisten Körper gilt das Gesetz, dass sie nur in den Formen eines und desselben Krystallsystems krystallisiren. Häufig kommen sie sogar nur in einer bestimmten Krystallform vor; in anderen Fällen krystallisiren sie in zwei oder drei Formen, die sich dann aus einander herleiten lassen. Nur selten finden sich Körper, die verschiedenen Krystallsystemen angehören.

Die Eigenschaft eines Körpers, in zwei (oder mehr) verschiedenen (nicht auf einander zurückführbaren) Krystallformen auftreten zu können, heisst Dimorphie (bezw. Heteromorphie). Dimorphe Körper sind z. B. der Schwefel, welcher sowohl in rhombischen Oktaëdern wie in monoklinen Säulen, und der kohlensaure Kalk, welcher als Kalkspath im hexagonalen, als Arragonit im rhombischen System krystallisirt.

Das Gegenstück zu den dimorphen bezw. heteromorphen Körpern bilden solche Stoffe, welche bei verschiedener, wenngleich ähnlicher chemischer Zusammensetzung dieselbe Krystallform haben; man nennt sie isomorph. Sie vermögen in jedem beliebigen Mischungsverhältniss zusammen zu krystallisiren, und das specifische Gewicht (siehe später) der Mischkrystalle lässt erkennen, dass bei der Krystallisation weder eine Vergrösserung noch eine Verringerung des Volums eintritt. Die physikalischen Eigenschaften der Mischkrystalle sind kontinuierliche Funktionen ihrer chemischen Zusammensetzung. — Der Entdecker der Isomorphie ist Mitscherlich.

Es kommt auch vor, dass Stoffe von verschiedenartiger chemischer Zusammensetzung dieselbe Krystallform besitzen; sie heissen isogon (J. W. Retgers). Beispiel: Bleiglanz und Natriumchlorat.

Isomorphe Körper sind z. B. die schwefelsauren, selensauren, chromsauren und mangansauren Salze derselben Base oder Basis, wie: K_2SO_4 , K_2SeO_4 , K_2CrO_4 , K_2MnO_4 ; ferner Thonerde, Eisenoxyd und Chromoxyd (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3), Krystallform: Rhomboëder; desgleichen Thonerde-, Chrom-, Eisenalaun, Krystallform: reguläres Oktaëder; Kalkspath, Magnesit, Manganspath, Spatheisenstein und Zinkspath (Rhomboëder); Arragonit, Barium-, Strontium-, Bleicarbonat usw.

Der Umstand, dass der dimorphe kohlensaure Kalk einerseits — als Kalkspath — mit Magnesit, Manganspath usw., andererseits — als Arragonit — mit Barium- und anderen Carbonaten isomorph ist, lehrt, dass die Ursache der Isomorphie nicht in der gleichen Konstitution der Körper, dem inneren Bau der Moleküle, zu suchen ist (denn Kalkspath und Arragonit müssen gleiche Molekularkonstitution besitzen), sondern in der Gruppierung der Moleküle, dem Bau der Molekular-Aggregate.

Da nicht isomorphe Körper nicht zusammen krystallisiren, so kann ein Salz von geringen Mengen eines andern durch Umkrystallisiren gereinigt werden; man löst das unreine Salz auf und lässt Krystallisation eintreten; während dann das reine Salz in krystallisirter Form ausgeschieden wird, verbleibt das unreinigende Salz in der rückständigen Salzlösung, der Mutterlauge.

Isomorphe Stoffe können auf diese Weise nicht von einander geschieden werden.

4. Wirkungen der Schwerkraft auf alle Arten von Körpern.

(Allgemeine Mechanik.)

Der freie Fall und die Fallrichtung. Lässt man einen Stein, den man vom Erdboden aufgehoben hat, in der Luft los, so dass er keine Unterstützung mehr hat, so bewegt er sich nach dem Erdboden hin, so weit es möglich ist; man sagt: der Stein fällt. (Vergl. S. 8.)

Lässt man zwei Steine (oder auch andere Körper) neben einander fallen, so ist die Richtung, in welcher sie sich der Erde nähern, für beide nahezu dieselbe. Diese Richtung kann durch ein einfaches Werkzeug angegeben werden; dasselbe besteht aus einem Faden (oder einer Schnur) und einer an dem einen Ende desselben befestigten Bleikugel; es heisst ein Loth oder Bleiloth (Fig. 12). Wenn man das freie Ende des Fadens emporhält, so spannt sich in Folge der Schwere der Bleikugel der Faden und nimmt, sobald er ruhig hängt, eine bestimmte Richtung an. Lässt man nun neben dem so aufgehängten Lothe einen Stein fallen, so lehrt der Augenschein, dass sich der Stein parallel dem Faden, also in gleicher Richtung, wie dieser sie hat, der Erde nähert.

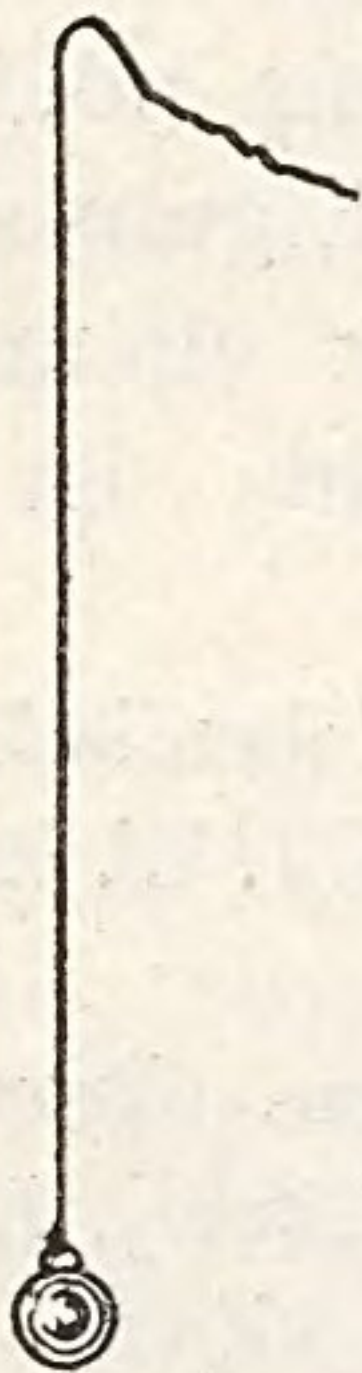


Fig. 12. Loth.

Diese Richtung heisst lothrecht, senkrecht oder vertikal.

Sie ist, genau genommen, für jeden Punkt der Erdoberfläche eine andere, da sie nach dem Erdmittelpunkte hinweist und sich somit alle Fallrichtungen in demselben schneiden.

Für nahe gelegene Punkte der Erdoberfläche ist aber der Richtungsunterschied der Fallrichtungen so klein, dass man ihn $= 0$ erachten, also vernachlässigen kann.

In seinen wesentlichen Theilen dem Lothe ähnlich ist das Senkblei, welches die Schiffer in das Meer hinablassen, um — an der eingetheilten Schnur — die Tiefe des Meeres zu messen.

Hält man ein Loth über die Oberfläche eines ruhigen Gewässers, so bildet der Faden des Lothes mit jeder geraden Linie, die man in der Ebene des Wasserspiegels durch den Fusspunkt des Lothes ziehen kann, rechte Winkel. Eine derartige Ebene heisst wagerecht oder horizontal. Jede gerade Linie und jeder gestreckte Körper (Stange, Balken usw.), durch welchen man eine wagerechte Ebene legen kann, heisst gleichfalls wagerecht oder horizontal.

Zur Bestimmung der wagerechten Richtung dient die Setzwage (Fig. 13). Sie besteht aus einem Lineal (ab) und einem damit verbundenen gleichschenkligen Dreieck (abc), in welches die Höhe (cd) eingeschnitten ist. Von der Spitze des Dreiecks hängt ein Loth herab (cd). Wenn dieses, das sich stets senkrecht einstellt, mit der Höhe zusammenfällt, so hat das zur Höhe rechtwinklige Lineal

eine wagerechte Richtung, desgl. ein Balken u. s. w., auf den die Setzwage gesetzt oder gestellt worden ist.

Erstes Fallgesetz. Wenn an einer Ramme der Rammklotz oder Rammbar aus einer grösseren Höhe herabfällt, so ist der Schlag, den er ausübt, gewaltiger, als wenn er aus einer geringeren Höhe niederfällt. Etwas Aehnliches zeigt sich, wenn ein Mensch aus verschiedenen Höhen auf die Erde fällt: man vergleiche die Wirkungen, welche eintreten, wenn der Fall von einem Stuhl, und wenn er von einem 1000 Meter hoch schwebenden Luftballon stattfindet.

Worin liegt der Grund für diese Erscheinung? — Die Masse des fallenden Körpers ist in den genannten Beispielen bei dem Fall aus grosser und aus geringer Höhe die gleiche, also kann sie nicht die Verschiedenheit der Wirkung verursachen; die ursprüngliche Höhe des fallenden Körpers kann dies gleichfalls nicht, denn bei seinem später erfolgenden Aufprall spielt dieselbe keine Rolle mehr. Es muss somit ein Umstand hier in Betracht kommen, den

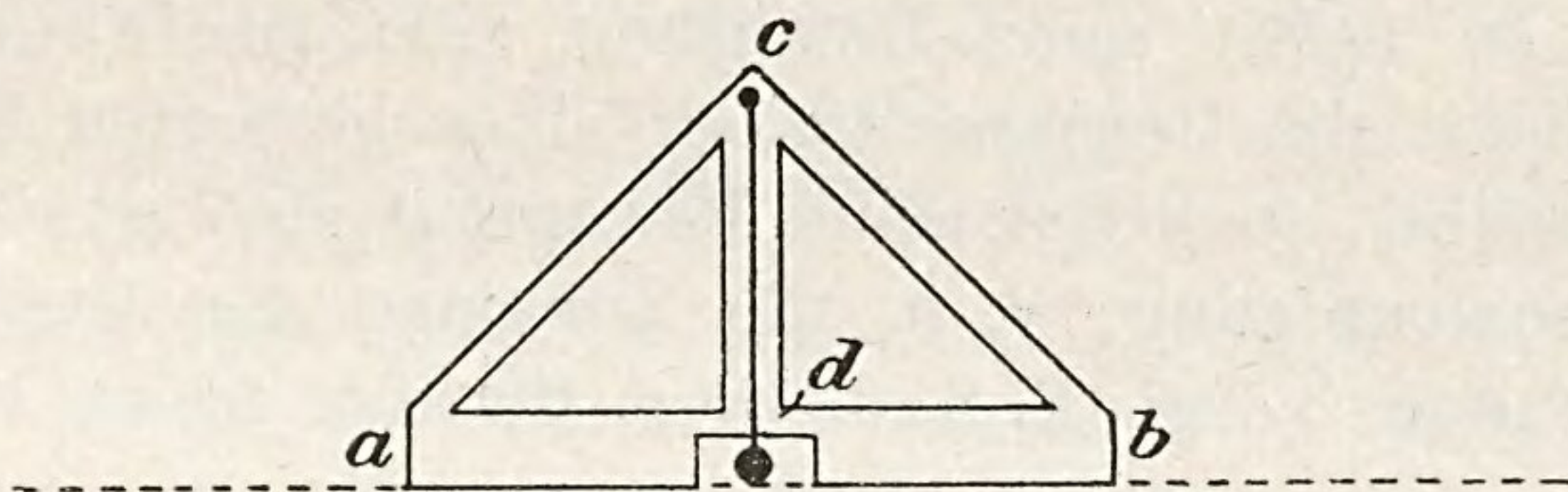


Fig. 13. Setzwage.

der Körper zwar auf Grund seiner ursprünglichen Höhe erlangt hat, den er aber beim Aufprall noch besitzt. Dieser Umstand ist die Geschwindigkeit des Körpers. (Vergl. S. 3.)

Dass ein bewegter Körper auf einen andern Körper, auf welchen er trifft, eine grössere Wirkung ausübt, wenn seine Geschwindigkeit grösser ist, zeigt die Erfahrung in zahlreichen Beispielen. (Anrempeln, Einrennen einer Thür oder Mauer, Hämmern, Rudern u. s. w.)

Die obigen Beispiele lehren somit, dass ein fallender Körper eine um so grössere Geschwindigkeit hat, je höher er herabfällt, oder mit andern Worten: je länger er unterwegs ist.

Hiernach nimmt die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers fortwährend zu, und zwar geschieht dies in jeder Sekunde um den gleichen Betrag.

Diese Thatsache erklärt sich folgendermaassen: Die Ursache des Fallens eines nicht unterstützten Körpers ist die Schwerkraft. Sie ertheilt dem Körper, der im Beginne des Falls die Geschwindigkeit 0 besitzt, eine Geschwindigkeit, die am Ende der ersten Sekunde g m betragen möge. In der zweiten Sekunde wirkt die Schwerkraft genau ebenso wie in der ersten; er erhält also während

derselben wiederum eine Geschwindigkeit von g m; da er aber bereits eine Geschwindigkeit von g m hatte, die ihm nach dem Trägheitsgesetz (S. 2) nicht verloren gehen kann, so besitzt er thatsächlich am Ende der 2. Sekunde eine Geschwindigkeit von $2g$ m. Desgleichen am Ende der 3. Sekunde eine Geschwindigkeit von $3g$ m und so fort.

Aus dem Erörterten ergibt sich die folgende genaue Form für das

1. Fallgesetz: Die Fallgeschwindigkeiten verhalten sich wie die Fallzeiten.

Als Fallgeschwindigkeiten bezeichnet man die Geschwindigkeiten am Ende der einzelnen Sekunden.

Arten der Bewegung. Eine solche Bewegung, wie sie der freie Fall der Körper uns darbietet, also eine Bewegung, bei welcher die Geschwindigkeit des bewegten Körpers fortwährend in gleichem Maasse zunimmt, heisst eine gleichmässig beschleunigte. Nimmt die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers fortwährend in gleichem Maasse ab, so heisst seine Bewegung eine gleichmässig verzögerte. Bleibt die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers fortwährend dieselbe, so heisst seine Bewegung eine gleichförmige.

Die Beschleunigung, d. h. die Zunahme der Geschwindigkeit in jeder Sekunde (vergl. S. 3) beträgt für den freien Fall

$$g = 9,808 \text{ m (rund} = 10 \text{ m)}.$$

Der Weg, den ein gleichförmig bewegter Körper in einer bestimmten Zeit, z. B. t Sekunden, zurücklegt, ist t mal so gross als der Weg in einer Sekunde oder als die Geschwindigkeit. Nennt man letztere v und den Weg s , so ist:

$$s = vt. \quad (1)$$

Zweites Fallgesetz. Anders verhält es sich mit dem Wege, den ein mit gleichmässiger Beschleunigung bewegter Körper in jeder Sekunde, sowie in einer bestimmten Anzahl von Sekunden zurücklegt.

Ein fallender Stein hat am Anfang der 1. Sekunde die Geschwindigkeit 0, am Ende der 1. Sekunde die Geschwindigkeit g . Der Weg, den er während der 1. Sekunde zurücklegt, ist somit nicht $= g$, sondern da die Geschwindigkeit ganz gleichmässig von 0 auf g anwächst, so gross, als wenn der Stein sich während der ganzen Sekunde mit gleichbleibender Geschwindigkeit von der mittleren Grösse $\frac{g}{2}$ bewegt hätte. Dieser Weg ist nach der eben aufgestellten Formel $(1) = \frac{g}{2} 1 = \frac{g}{2}$.

Für die 2. Sekunde ist die Anfangsgeschwindigkeit $= g$, die Endgeschwindigkeit $= 2g$, die mittlere Geschwindigkeit also $= \frac{3g}{2}$ oder $= 3\frac{g}{2}$; der zurückgelegte Weg ist dann $= 3\frac{g}{2} 1 = 3\frac{g}{2}$.

Für die 3., 4., 5. Sekunde u. s. w. ergeben sich auf gleiche Weise die Wege $5\frac{g}{2}$, $7\frac{g}{2}$, $9\frac{g}{2}$ u. s. w.

Diese Wege verhalten sich zu einander wie $1:3:5:7:9$ u. s. w., d. h. wie die ungeraden Zahlen. Somit ergibt sich als

2. Fallgesetz: Die Wege, die ein fallender Körper in den einzelnen Sekunden zurücklegt, verhalten sich wie die ungeraden Zahlen.

Drittes Fallgesetz. Will man nun die Grösse der gesamten Fallstrecken in zwei, drei, vier Sekunden u. s. w. ermitteln, so hat man nur nöthig, die Wege in den einzelnen Sekunden zu addiren.

In 2 Sekunden beträgt die Fallstrecke $\frac{g}{2} + 3\frac{g}{2} = 4\frac{g}{2}$; in 3 Sekunden $4\frac{g}{2} + 5\frac{g}{2} = 9\frac{g}{2}$; in 4 Sekunden $9\frac{g}{2} + 7\frac{g}{2} = 16\frac{g}{2}$ u. s. w.

Diese Fallstrecken verhalten sich wie $1:4:9:16 = 1^2:2^2:3^2:4^2$ u. s. w., d. h. wie die Quadrate der Fallzeiten. — Somit gilt als

3. Fallgesetz: Die gesamten Fallstrecken verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.

Nennt man den in einer beliebigen Fallzeit (t) zurückgelegten Weg s und die am Ende dieser Zeit erlangte Fallgeschwindigkeit v , so lassen sich das 1. und das 3. Fallgesetz durch folgende Formeln wiedergeben:

$$v = gt$$

und $s = \frac{1}{2}gt^2.$

Hieraus ergibt sich ferner: $s = \frac{v^2}{2g}$ und $v = \sqrt{2gs}.$

Das dritte Fallgesetz kann auch unmittelbar aus dem ersten in folgender Weise abgeleitet werden:

Da die Geschwindigkeit des fallenden Körpers in der Zeit t ganz gleichmässig von 0 auf gt anwächst, so ist der Weg derselbe, als wenn der Körper sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit von der mittleren Grösse $\frac{gt}{2}$ bewegt hätte. Dieser Weg ist nach der S. 30 angegebenen Formel (1) $= \frac{gt}{2}t.$ Also:

$$s = \frac{gt}{2}t \left(= \frac{v}{2}t \right) = \frac{1}{2}gt^2.$$

Fallmaschine. Die drei Fallgesetze sind um das Jahr 1600 von Galilei entdeckt worden. Man kann sie mittels der 1784 erfundenen Atwood'schen Fallmaschine (Fig. 14) nachweisen.

An einem für sich frei fallenden Körper kann man die Fallgesetze deswegen nicht untersuchen, weil die Fallgeschwindigkeiten und daher die Fallstrecken

im Verhältniss zu den Fallzeiten zu gross sind. Beträgt doch z. B. die Fallgeschwindigkeit bereits am Ende der 3. Sekunde rund 30 m und die Fallstrecke, die bis dahin durchlaufen wird, 45 m. Die Atwood'sche Fallmaschine ist daher so eingerichtet, dass die Beschleunigung, welche der fallende Körper erfährt, eine viel geringere als 10 m ist. Dies wird auf folgende Weise erreicht. Ueber eine leicht bewegliche Rolle (r) läuft eine Schnur, die an ihren beiden freien Enden zwei vollkommen gleich schwere Gewichte (g und g') trägt. Dieselben halten sich das Gleichgewicht und gerathen daher von selbst nicht in Bewegung. Diese tritt vielmehr erst dann ein, wenn auf eins der Gewichte (g') ein Uebergewicht gelegt wird. Die Beschleunigung, welche in Folge des — dem Einfluss der Schwerkraft nicht entzogenen — Uebergewichtes das ganze System der drei Gewichte erfährt, ist nun aus dem Grunde eine geringe, weil der auf das Uebergewicht einwirkende Theil der Schwerkraft nicht nur dieses, sondern auch die Massen der beiden andern Gewichte in Bewegung versetzen muss. Es vertheilt sich somit die Wirkung der Schwerkraft auf eine grössere Masse, und daher wird die zu Tage tretende Beschleunigung geringer.

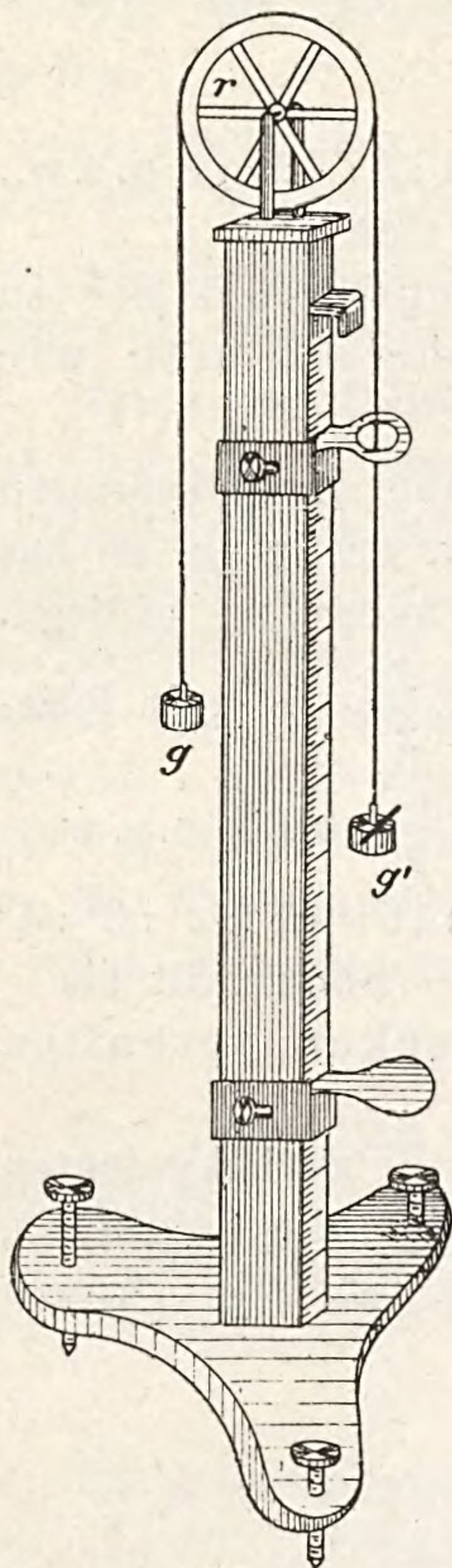


Fig. 14. Atwood'sche Fallmaschine.

Aus dem Letztgesagten geht hervor, dass eine mechanische Wirkung nicht nur von der Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung — wie schon vorhin (S. 29) erwähnt — sondern auch von der (sich bewegenden oder bewegten) Masse abhängt.

Fallbeschleunigung. Wenn man einen Stein, ein Geldstück oder einen anderen schweren Körper neben einer Flaumfeder, einem Stück Papier oder einem anderen leichten Körper aus gleicher Höhe gleichzeitig zur Erde fallen lässt, so beobachtet man, dass der Stein u. s. w. schneller auf dem Erdboden anlangt als die Flaumfeder u. s. w. Dies ist aber nur der Fall, wenn der schwere und der leichte Körper in Luft oder einem andern widerstehenden Mittel (Wasser, anderen Flüssigkeiten oder beliebigen Gasen) fallen. Lässt man verschieden schwere Körper in einer luftleer gepumpten Glasröhre, einer sogenannten

Fallröhre, fallen, so erkennt man, dass sie stets gleich schnell vom einen Ende bis zum andern gelangen. Hieraus ergibt sich der Satz: Im leeren Raume fallen alle Körper gleich schnell.

Diese Thatsache kann man sich folgendermaassen verständlich machen:

Die Schwerkraft, welche zwischen der Erde und einem schweren Körper wirkt, ist zwar grösser als die zwischen der Erde und einem leichten Körper, und zwar entsprechend dem Verhältniss der Massen der beiden Körper (vgl. S. 9); aber dafür hat auch die Schwerkraft im ersten Fall eine grössere Masse fortzubewegen als im zweiten, oder mit anderen Worten: eine im gleichen Verhältniss (wie sie selbst grösser ist) grössere Leistung zu vollbringen, so dass die sichtbare Wirkung in beiden Fällen die gleiche sein muss.

Auch folgendes Gleichniss kann passend zur Veranschaulichung der Sache herangezogen werden. Wenn 11 Rennpferde von gleicher Leistungsfähigkeit auf zwei Bahnen laufen und zwar 10 auf der einen und 1 auf der andern, so werden alle gleichzeitig ans Ziel gelangen und nicht etwa die 10 Pferde 10mal so schnell als das eine. Ebenso müssen zwei verschieden schwere Massen, welche etwa aus 1000 und aus 100 Masse-Atomen zusammengesetzt sind, im leeren Raume gleich schnell fallen, da die Schwerkraft auf alle Masse-Atome in gleicher Weise einwirkt, also jedes einzelne Masse-Atom dieselbe Beschleunigung erfährt.

Anders gestaltet sich die Sache nur dann, wenn es ein Hinderniss zu überwinden gilt: im luftgefüllten Raume die Theilchen der Atmosphäre, welche dem fallenden Körper entgegenstehen. Hier ist der Körper mit grösserer Masse wirksamer (vergl. S. 32), er wird also den Widerstand besser überwinden und keine so weitgehende Verzögerung erfahren wie der Körper mit kleinerer Masse, d. h. der leichtere Körper. — Dass die Ursache dafür, dass verschieden schwere Körper im luftgefüllten Raum verschieden schnell fallen, wirklich nur im Luftwiderstande zu suchen ist, dem die Körper mit ungleich grossen Kräften entgegen-treten, zeigt auch folgender Versuch:

Man lege auf eine Münze ein Stück Papier, welches etwas kleiner geschnitten ist als jene, so dass es den Rand derselben nicht überragt, und lasse beide Gegenstände (die Münze unten, das Papier oben) auf den Tisch fallen: beide kommen gleichzeitig auf der Tischplatte an; in diesem Falle wird der Luftwiderstand durch die Münze überwunden, so dass das Papier durch ihn nicht in erheblicherem Maasse aufgehalten werden kann als die Münze.

Dem Gravitationsgesetz (S. 9) entsprechend, muss die Wirkung der Schwerkraft mit der Entfernung vom Erdmittelpunkte abnehmen, da dieser, weil ihm die fallenden Körper zustreben, als Wirkungsmittelpunkt der irdischen Schwerkraft oder Gravitationsmittelpunkt zu erachten ist. Die Beobachtung lehrt in der That, dass auf hohen Bergen die Schwerkraft eine geringere Wirkung ausübt, und ferner, dass sie am Aequator schwächer wirkt als an den beiden Polen. Letzterer Umstand erklärt sich aus der Form der Erde, die als eine an den Polen abgeplattete Kugel bezeichnet werden kann; die Abplattung beträgt nach Bessel $\frac{1}{299}$, d. h. der kleinste Erdhalbmesser (der Polarhalbmesser) ist gleich dem grössten (dem Aequatorial-)Halbmesser, vermindert um $\frac{1}{299}$ der Länge des letzteren.

Die geringere Wirkung der Schwerkraft am Aequator wurde zuerst daran erkannt, dass ein und dasselbe Pendel in der gleichen Zeit nahe dem Aequator weniger Schwingungen machte als in nördlicheren Breiten. (Astronom Richer i. J. 1672, Cayenne—Paris.) Ferner ist festgestellt worden, dass am Aequator die Fallgeschwindigkeit der Körper geringer ist als an den Polen.

Senkrechter Wurf. Wird ein Körper senkrecht nach unten geworfen, so addirt sich zu seiner Fallgeschwindigkeit in jeder Sekunde eine von der Gewalt des Wurfs abhängige, gleichbleibende Wurfgeschwindigkeit hinzu.

Wird umgekehrt ein Körper senkrecht in die Höhe geworfen, so subtrahirt sich von seiner Anfangsgeschwindigkeit in jeder Sekunde ein der Beschleunigung beim freien Fall gleichkommender Betrag. Derselbe wird Verzögerung genannt; der senkrechte Wurf ist also das Beispiel einer gleichmässig verzögerten Bewegung. Hat die Geschwindigkeit des Körpers bis zum Werthe 0 abgenommen, so fällt er wieder abwärts; die Endgeschwindigkeit, die er alsdann erlangt, ist gleich der Anfangsgeschwindigkeit, die ihm beim Beginn der Wurfbewegung nach oben hin ertheilt worden war. Die Steigezeit beim Wurf ist der späteren Fallzeit gleich.

Wagerechter Wurf; Arten der Kräfte. Wird ein Körper wagerecht geworfen, so ist seine Bahn keine gerade Linie wie in den vorhergehenden Fällen, sondern eine (halbe) Parabel. Es wirken nämlich in diesem Falle zwei Kräfte auf den Körper ein (die Wurfkraft und die Schwerkraft), deren Richtung verschieden ist, die also einen Winkel mit einander bilden. Dieselben setzen sich nach dem Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte zusammen.

Ehe wir diesem Gesetze näher treten, ist es nothwendig, zweierlei Arten von Kräften zu unterscheiden: die momentan oder einmalig wirkenden und die dauernd wirkenden, deren Wirkung in jeder folgenden Zeiteinheit (Sekunde, Minute u. s. w.) dieselbe ist wie in der vorhergehenden. Zu jenen gehört z. B. die Stosskraft (als welche auch die Wurfkraft anzusehen ist), zu diesen die Schwerkraft.

Jede Kraft lässt sich, da ihre Wirkung in irgend einer Bewegung einer Masse besteht, durch eine gerade Linie von bestimmter Richtung und bestimmter Länge darstellen, welch' letztere (bei einmalig wirkenden Kräften) der ertheilten Geschwindigkeit oder (bei dauernd wirkenden Kräften) für jede Zeiteinheit der ertheilten Beschleunigung entspricht.

Eine einmalig wirkende Kraft ist dem Produkt aus Masse mal Geschwindigkeit proportional, eine dauernd wirkende Kraft dem

Produkt aus Masse mal Beschleunigung. (Statt der Proportionalität setzt man abgekürzt oft die Gleichheit.)

Zusammensetzung der Kräfte. Fragen wir uns zunächst, wie sich einmalig wirkende Kräfte zusammensetzen.

Wenn sie in derselben Richtung und in demselben Sinne (nach derselben Seite hin) wirken, so addiren sie sich einfach (wie Strecken geometrisch addirt werden). Wirken sie zwar in derselben Richtung, aber in entgegengesetztem Sinne (also entweder von einander fort oder auf einander zu), so subtrahiren sie sich.

Ein besonderer Fall ist der, dass zwei in derselben Richtung, aber einander entgegengesetzt wirkende Kräfte gleich gross sind. Sie heben sich auf, ihre Wirkung ist also — in der Art, wie sie erwartet werden konnte — gleich Null. Irgend eine Wirkung aber, nur von anderer Art, als erwartet war, findet trotzdem statt; z. B. wird durch zwei Hämmer, die an einander geschlagen werden, Wärme erzeugt, wenngleich die sichtbare Bewegung jedes Hammers beim Zusammentreffen beider ein Ende erreicht.

Parallelogramm der Kräfte. Wenn zwei einmalig wirkende Kräfte (p und q , siehe Fig. 15) unter einem gewissen Winkel auf einen Körper (A) einwirken,

so dass z. B. die Kraft p den Körper in 1 Sekunde von A nach B und die Kraft q den Körper in der gleichen Zeit von A nach C bewegen würde, so geht der Körper weder nach B noch nach C , sondern er bewegt sich längs einer Linie zwischen AB und AC bis zu einem Punkte D , der so weit von

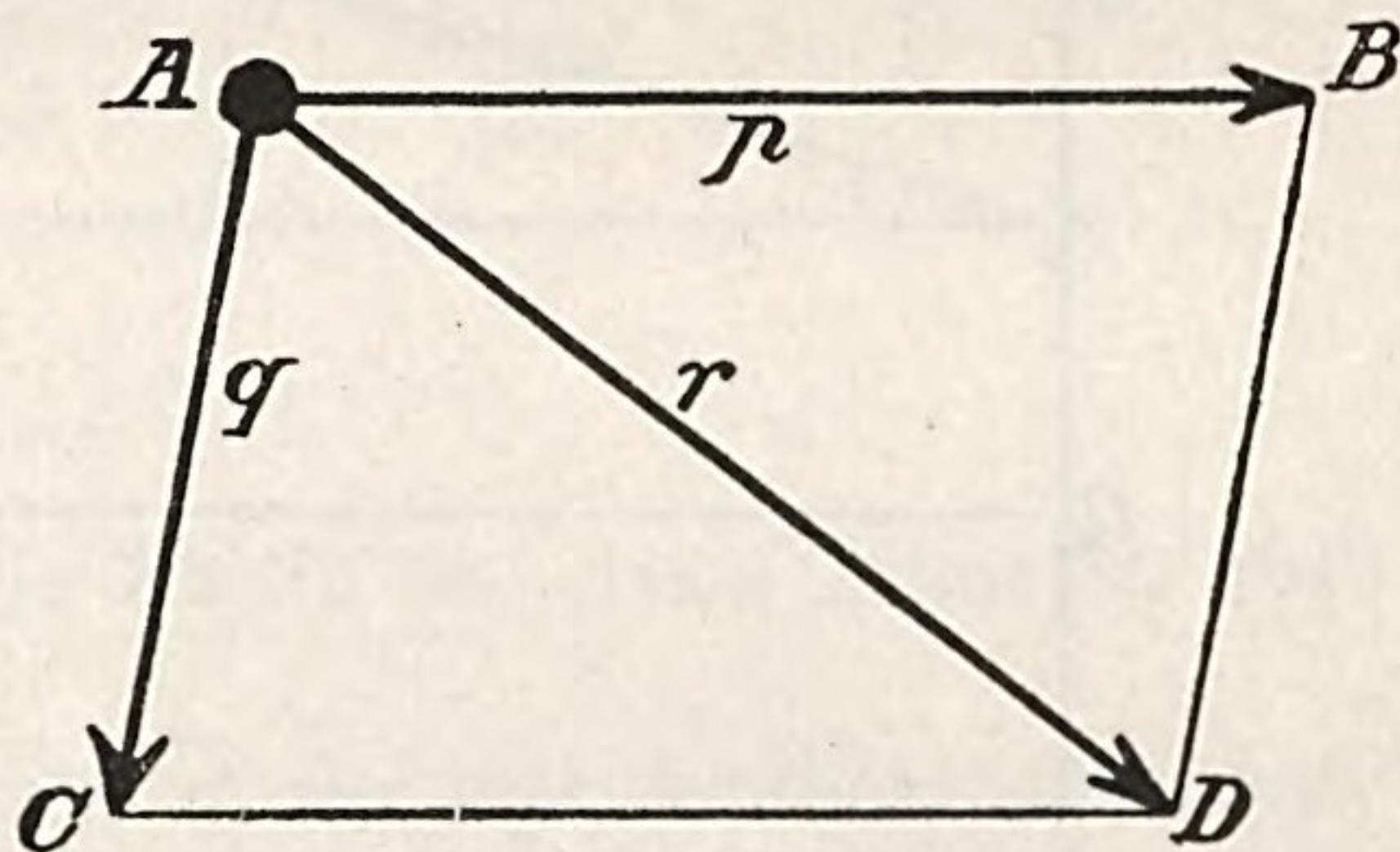


Fig. 15. Parallelogramm der Kräfte.

AC entfernt liegt wie der Punkt B und so weit von AB wie der Punkt C oder mit anderen Worten: der auf einer durch B zu AC und auf einer durch C zu AB gezogenen Parallelen liegt. Dieser Punkt D ist der vierte Eckpunkt des durch AB und AC oder durch p und q bestimmten Parallelogramms. Der Erfolg ist somit der, als hätte weder p noch q eine Wirkung auf A ausgeübt, sondern statt ihrer eine Kraft $r = AD$, welche die Diagonale im Parallelogramm $ABDC$ ist. Es ergibt sich also folgendes Gesetz:

Wirken auf einen Körper zwei Kräfte unter einem Winkel ein, so setzen sie sich zu einer mittleren Kraft (oder einer Resultirenden) zusammen, welche nach Richtung und Grösse durch die Diagonale des von den beiden

ersten Kräften (den Komponenten) bestimmten Parallelogramms dargestellt wird. (Newton, 1686.)

Was hier von einmalig wirkenden Kräften gesagt ist, lässt sich dem Wortlaute nach unmittelbar auf dauernd wirkende Kräfte übertragen; es besteht nur insofern ein Unterschied, als bei den letzteren die absolute Kraftgrösse in jeder folgenden Zeiteinheit (gleichmässig) wächst.

Wurfbahnen. Die auf einen wagerecht geworfenen Körper (S. 34) einwirkenden Kräfte sind nun von verschiedener Art; die Wurfkraft ist eine einmalig wirkende, die Schwerkraft eine dauernd

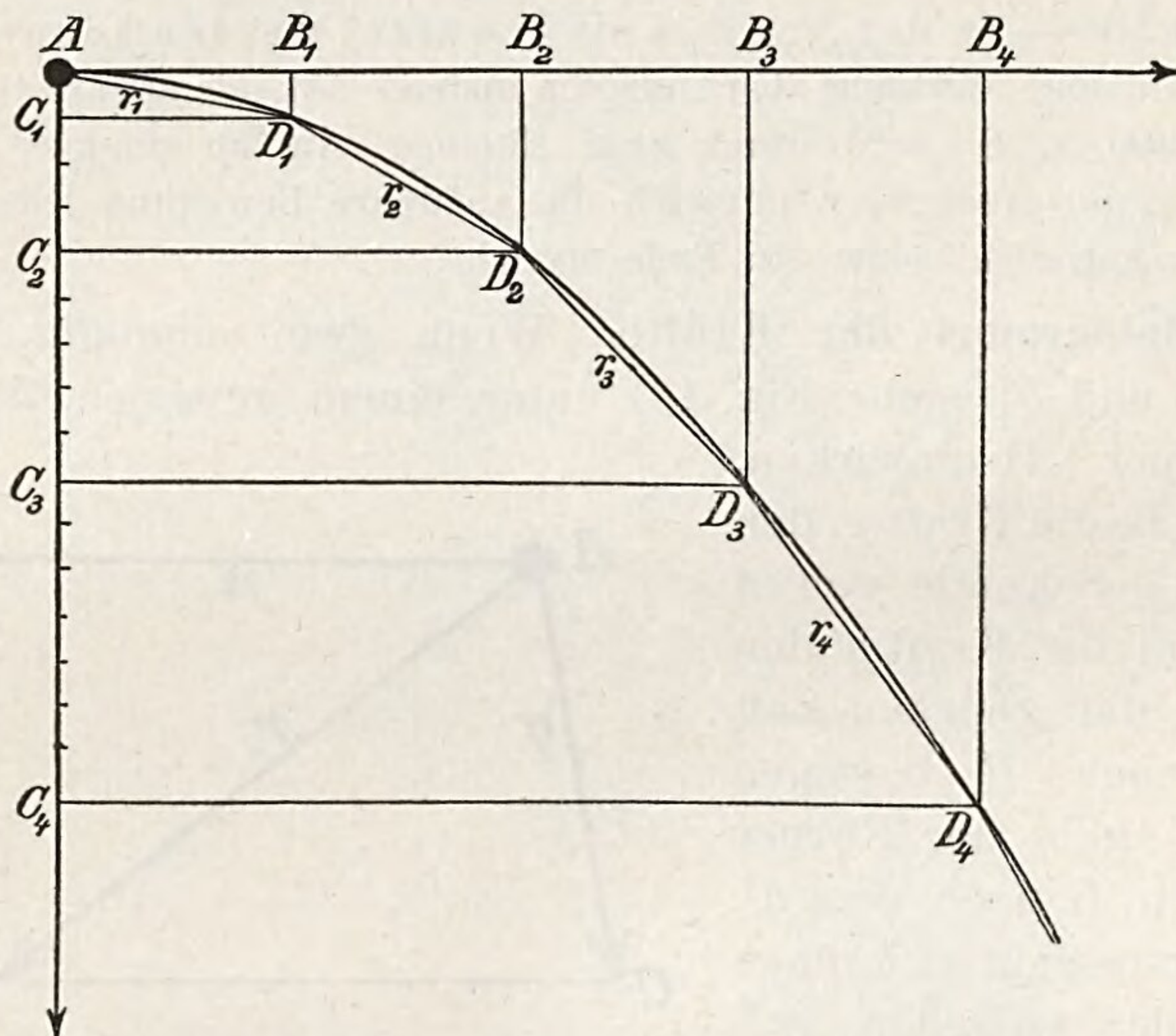


Fig. 16. Wurfbahn eines wagerecht geworfenen Körpers.

wirkende Kraft. Beide bilden einen rechten Winkel mit einander, da die Wurfkraft wagerecht, die Schwerkraft senkrecht wirkt.

Die Wirkung der Wurfkraft ist für jede Sekunde dieselbe, die Wirkung der Schwerkraft wächst in den einzelnen auf einander folgenden Sekunden (nach dem 2. Fallgesetz, S. 31) im Verhältniss der ungeraden Zahlen. Auf Grund dieser Thatsachen lassen sich die Resultirenden in den einzelnen Sekunden (r_1, r_2, r_3, r_4 u. s. w.) auf die aus Fig. 16 ersichtliche Art ermitteln. Der Weg, welchen der geworfene Körper durchläuft, die Wurfbahn, ist die durch die Punkte D_1, D_2, D_3, D_4 u. s. w. gehende Kurve: eine halbe Parabel. (Die gebrochene Linie $D_1 D_2 D_3 D_4 \dots$ ist aus dem Grunde nicht die Wurfbahn, weil die Wirkung der Schwerkraft nicht ruckweise

von Sekunde zu Sekunde, sondern ganz allmählich im Fortgange der Zeit anwächst.)

In ähnlicher Weise lässt sich die Wurfbahn eines schräg aufwärts geworfenen Körpers feststellen. Sie ist eine vollständige Parabel mit im Allgemeinen ungleich langen Aesten.

Der Scheitel der Parabel liegt beim wagerechten oder horizontalen Wurf im Anfangspunkte der Bewegung, beim schiefen Wurf vom Anfangspunkte entfernt; es ist der höchste Punkt der Bahn.

Fall auf der schiefen Ebene. Wenn ein Körper eine gegen den Horizont geneigte Ebene — eine sogenannte schiefe Ebene — herabrollt, so ist die Geschwindigkeit, die er erlangt, stets kleiner, als wenn er (unter Zurücklegung desselben Weges) frei fällt, und zwar gilt dies auch bei einem fast völligen Ausschluss aller Reibung (ein absoluter Ausschluss der Reibung ist

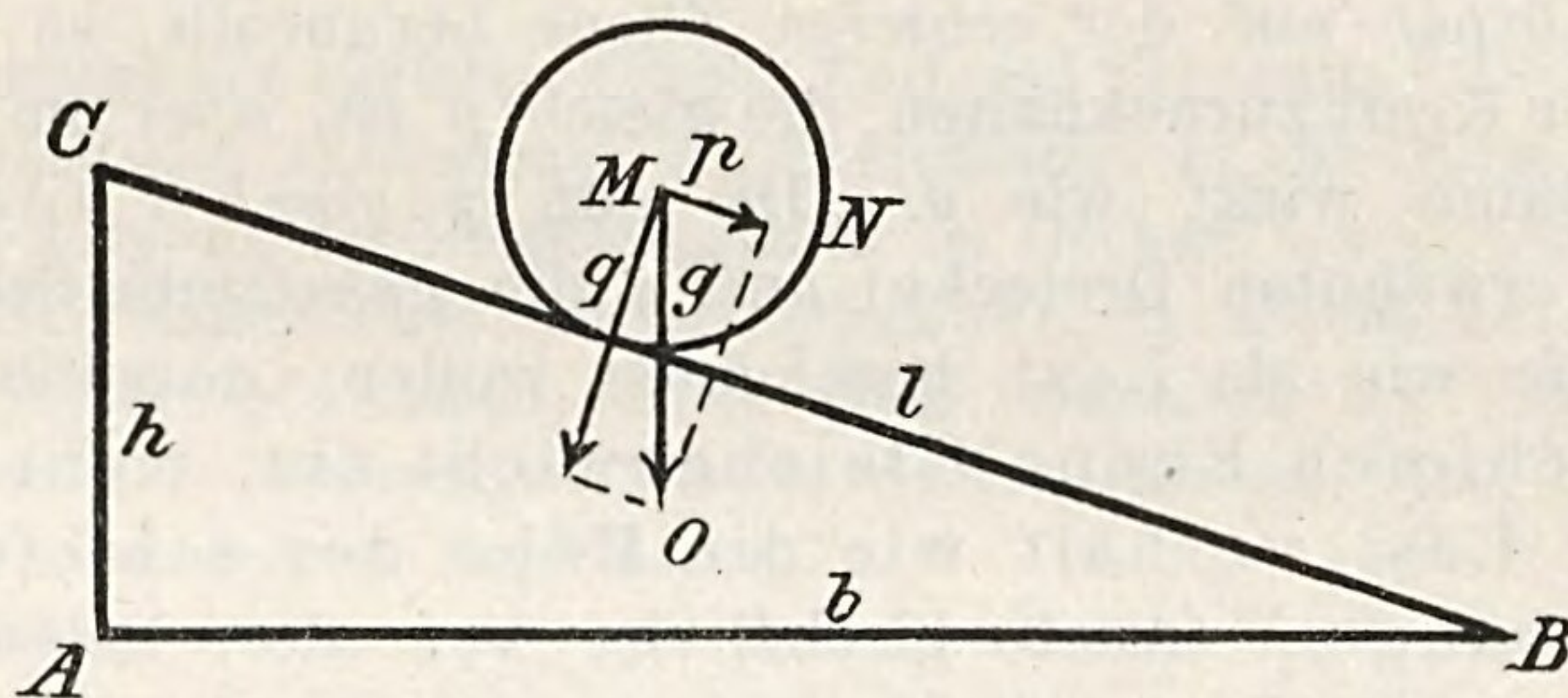


Fig. 17. Schiefe Ebene.

nicht erzielbar). Je steiler die Ebene ist, desto schneller rollt der Körper herab.

Der Grund für diese Erscheinung ist der, dass der Körper der Schwerkraft nicht frei zu folgen vermag; ein Theil seiner Schwere wird durch die (von der schiefen Ebene gebildete) Unterlage aufgehoben und äussert sich als Druck auf dieselbe. Je steiler die schiefe Ebene, desto geringer dieser Druck, desto weniger trägt die Ebene den Körper; desto vollkommener folgt er also der Wirkung der Schwerkraft.

Geht die Ebene in die wagerechte Stellung über, so wird der Körper vollständig getragen, sein Druck ist am grössten; die Schwerkraft vermag gar nicht frei zu wirken, der Körper bleibt in Ruhe. Geht die Ebene in die senkrechte Stellung über, so wird der Körper gar nicht getragen, er fällt frei neben der Ebene herab.

Der Druck des Körpers auf die schiefe Ebene und seine Fallbeschleunigung stehen im umgekehrten Verhältniss zu einander. Die Grösse dieses Verhältnisses lässt sich auf die Weise feststellen, dass man die Schwerkraft (bezw. die senkrecht nach unten wirkende Fallbeschleunigung) nach Maassgabe des Gesetzes vom Parallelo-

gramm der Kräfte als Resultirende zweier Komponenten betrachtet, welche — die eine parallel zur schiefen Ebene, die andere senkrecht dazu wirken. (Vgl. Fig. 17.)

Ist g die Schwerkraft, welche den auf der schiefen Ebene BC herabrollenden Körper im Punkte M angreift, so sind ihre Komponenten p und q . Diese verhalten sich wie $h:b$, was aus der Aehnlichkeit der beiden Dreiecke MNO und CAB folgt.

Man bezeichnet nun $l=BC$ als die Länge, $b=AB$ als die Basis und $h=AC$ als die Höhe der schiefen Ebene.

Hiernach verhält sich, von der Reibung abgesehen, die Fallbeschleunigung (p) auf der schiefen Ebene zum Druck (q) auf dieselbe wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Basis.

Gleichgewicht auf der schiefen Ebene. Will man verhindern, dass der Körper auf der schiefen Ebene herabrollt, so muss man ihn mit einer Kraft zurückhalten, die gleich p ist, aber im entgegengesetzten Sinne wirkt wie p . Da nun $p:g=h:l$ (Aehnlichkeit der vorhin erwähnten Dreiecke) und g die gesamte Schwere des Körpers, die wir als Last bezeichnen wollen, darstellt, so tritt auf der schiefen Ebene Gleichgewicht ein, wenn sich die Kraft zur Last verhält wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge. (Auch hierbei ist von der Reibung abgesehen.)

Dies Gesetz der schiefen Ebene lehrt, dass die Verwendung der schiefen Ebene bei der Verhinderung eines Körpers am Fallen und ebenso bei der Emporbeförderung eines Körpers eine Ersparniss an Kraft mit sich bringt.

Dafür freilich ist im letzteren Falle der Weg, den der Körper zurückzulegen hat, um auf dieselbe Höhe zu gelangen (von AB nach C), ein grösserer (BC), als wenn man den Körper unmittelbar senkrecht in die Höhe hebt (AC), und desgleichen ist die Zeit — bei gleicher und gleichbleibender Geschwindigkeit — eine längere.

So heben ein mechanischer Vorthail und ein mechanischer Nachtheil einander auf, und die Arbeit ist — bei senkrechter Beförderung und bei der Beförderung auf der schiefen Ebene — die gleiche. (Goldene Regel der Mechanik.)

Arbeit. Als Arbeit (oder Kraftleistung) bezeichnet man gemeinhin das Produkt aus Kraft mal Weg; wobei man nur die dauernd wirkenden Kräfte als arbeitsleistende ansieht, die also = dem Produkt aus Masse mal Beschleunigung zu setzen sind.

Man kann als Arbeit aber auch das Produkt aus Masse mal Weg und damit auch (weil beides einander gleichkommt) das Produkt aus mittlerer Kraft mal Zeit betrachten.

Praktisch kommen beide Anschauungsweisen auf eins heraus; bei der ersteren läuft durch die Rechnung nur ein Faktor mehr (die Beschleunigung).

Als Maass der Arbeit gilt das Kilogramm-meter (kgm), d. h. diejenige Arbeit, welche erforderlich ist, um 1 Kilogramm 1 Meter hoch zu heben. Eine Pferdekraft wird = 75 Kilogramm-meter pro Sekunde (also = $75 \cdot 60 = 4500$ kgm pro Minute u. s. w.) erachtet.

Die Arbeit (Kraft mal Weg), welche ein fallender Körper leistet, der in der Zeit t den Weg s zurücklegt, ist

$$\begin{aligned} &= (mg) s \text{ oder, da } s = \frac{1}{2} g t^2 \text{ (S. 31),} \\ &= mg \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} m (gt)^2 \text{ oder, da } gt = v \text{ (S. 31),} \\ &= \frac{1}{2} m v^2. \end{aligned}$$

Diese Grösse, also das halbe Produkt aus der Masse mal dem Quadrat der Geschwindigkeit, nennt man lebendige Kraft; sie hat aber keine besondere Bedeutung.

Anwendung der schiefen Ebene; Keil und Schraube. Die schiefe Ebene findet mannichfache Anwendung: als Schrotleiter, in der Form der Rampen, Leitern und Treppen, der Zickzackstrassen im Gebirge u. s. w.; ferner als Keil oder bewegliche schiefe Ebene und als Schraube, die als eine um einen Cylinder (oder eine Walze) gewundene schiefe Ebene anzusehen ist. Keilform haben zahlreiche unserer Werkzeuge: Messer, Schere; Meissel, Axt; Nadel; Nagel; Säbel; Pflugschar, Spaten, Egge u. s. w.

Je schmaler ein Keil ist, mit desto geringerer Kraft lässt er sich handhaben. Je grösser der Durchmesser einer Schraube ist und je näher die Schraubengänge bei einander stehen, desto leichter lässt sich die Schraube anziehen, aber desto mehr Zeit ist freilich auch zur gleichen Arbeitsleistung erforderlich.

Liegt bei einer Schraube das Gewinde dem Cylinder ausserhalb auf, so heisst sie Schraubenspindel; ist das Gewinde einem Hohlcylinder innen eingeschnitten, so führt sie den Namen Schraubenmutter; erst das Zusammenwirken beider bringt die Wirksamkeit der Schraube hervor; wird z. B. eine eiserne Schraube (Schraubenspindel) in Holz eingeführt, so schafft sie sich selbst eine Schraubenmutter.

Die Schraube findet theils als Befestigungsschraube (statt der Nägel) Anwendung, theils dient sie als Hebeschraube zum Heben von Lasten oder als Druckschraube in den verschiedenen Arten der Schraubenpressen dazu, einen erheblichen Druck auszuüben; die Schraubenpressen haben entweder eine bewegliche Schraubenspindel (z. B. die Buchdruckerpresse, die Olivenpresse, die Saftpresse, die Tinkturenpresse — vgl. Fig. 104 a. S. 174 des Praktischen Theils) oder bewegliche Schraubenmutter (z. B. die Buchbinderpresse).

Centralbewegung. Wenn man eine Kugel, die an dem unteren Ende eines senkrecht hängenden Fadens (nach Art eines Bleiloches) befestigt ist, aus ihrer Ruhelage herauszieht und ihr dann einen seitlichen Stoss versetzt, so bewegt sie sich in einer krummlinigen geschlossenen Bahn — einem Kreis oder einer Ellipse — um die frühere Ruhelage. Damit eine solche Bewegung möglich ist

und die Kugel nicht etwa, dem Beharrungsgesetze folgend, in gerader Linie in der Richtung des Stosses weiterfliegt, muss eine dauernd wirkende Kraft von gleichbleibender Grösse die Kugel nach demselben Punkte, der als Mittelpunkt der Bahn bezeichnet wird, hintreiben. Diese Kraft ist im angeführten Beispiel die Schwerkraft, welche die Kugel wegen ihrer senkrechten Aufhängung in ihre ursprüngliche tiefste (Ruhe-)Lage zurückzuführen strebt.

Eine derartige Bewegung eines Körpers um einen festen Punkt (bzw. eine feste Achse) heisst Centralbewegung, die nach dem Mittelpunkte der Bahn gerichtete Kraft Centrakraft oder Centripetalkraft. (Die Zusammensetzung der Centripetalkraft mit der anfänglich ausgeübten Stosskraft geschieht nach Maassgabe des Gesetzes vom Parallelogramm der Kräfte.)

Eine Centralbewegung wird auch von einer an dem einen Ende eines Fadens befestigten Kugel ausgeführt, welche man heftig im Kreise schwingt, oder etwa vom Monde, indem er sich im Laufe eines Monats um die Erde bewegt. Im ersteren Beispiele wird die Centrakraft durch die Spannung des Fadens, im letzteren durch die Gravitation des Mondes nach der Erde hervorgebracht.

Wenn der Faden der im Kreise geschwungenen Kugel reisst, so fliegt die letztere mit einer der seitlich wirkenden Kraft entsprechenden Geschwindigkeit in der Richtung einer Tangente fort, die man an die Schwungbahn in dem Punkte derselben legen kann, wo sich die Kugel beim Reißen des Fadens gerade befand. Diese Kraft, mit welcher die Kugel seitlich fortfliegt, heisst Tangentialkraft.

Bleibt der Faden ganz, so zerzt die Kugel an dem sie (in der Richtung nach dem Mittelpunkte der Schwungbahn) festhaltenden Faden mit einer Kraft, welche der Centripetalkraft gleichkommt, aber im entgegengesetzten Sinne wirkt wie diese; man nennt sie die Centrifugalkraft oder Schwungkraft. Dieselbe wird aber nicht auf die Kugel ausgeübt, sondern von dieser auf den Faden und den Mittelpunkt der Bahn.

Während im genannten Beispiel der Centrifugalkraft durch die Spannung des Fadens entgegengewirkt wird, kann letzteres auch durch eine dem schwingenden Körper gesetzte äussere Begrenzung geschehen (Centrifugal-Trockenmaschine, Centrifuge).

Auf der geeigneten Ausnutzung der Centrifugalkraft beruht die Einrichtung des Centrifugalregulators der Dampfmaschinen, der Centrifugal-Trockenmaschinen und der in der Zuckerfabrikation, bei der Honiggewinnung, der Entrahmung der Milch und der Trennung der Harnsedimente verwendeten Centrifugen; in allen diesen Fällen begeben sich die schwereren Theile der ursprünglichen Masse nach aussen, während sich die leichteren Theile in der Mitte des Apparates ansammeln. Auf der Ausnutzung der Tangentialkraft beruht der Gebrauch der Schleuder.

5. Wirkungen der Schwerkraft auf feste Körper.

(Mechanik der festen Körper.)

Wegen der bedeutenden Kohäsion, die den festen Körpern eigen ist, brauchen sie nur in einzelnen Punkten unterstützt zu werden, um nicht zu fallen, da die Ablösung einzelner — nicht unterstützter — Theile entweder gar nicht oder (je nach der Kohäsion) doch nur in geringem Maasse zu befürchten ist. Auf Grund dessen zeigt die Einwirkung der Schwerkraft auf feste Körper gewisse Besonderheiten, die sich im Hebel, in der Erscheinung des Schwerpunktes und im Pendel offenbaren.

Hebel. Als Hebel bezeichnet man einen um einen festen Punkt oder eine feste Achse drehbaren Körper, auf welchen Kräfte einwirken. — Der feste Punkt heisst Unterstützungspunkt oder Drehpunkt, die Punkte, in denen die Kräfte auf den Hebel wirken, Angriffspunkte; die Entfernung eines Angriffspunktes vom Drehpunkt heisst ein Hebelarm.

Die gewöhnliche Form des Hebels ist die einer Stange. — Durchbohrt man eine solche in der Mitte und steckt sie auf einen Stift, so ist sie zunächst im Gleichgewicht, vorausgesetzt, dass sie in allen ihren Theilen gleich schwer ist. Hängt man dann an ihr eines Ende ein Gewicht, so neigt sich die Stange nach der schwereren Seite hin. Um das frühere Gleichgewicht wieder herzustellen, ist es nöthig, auch das andere, in die Höhe gegangene Ende der Stange durch ein Gewicht zu beschweren, und zwar muss dieses Gewicht dem ersteren gleich sein (sofern beide Gewichte genau in gleicher Entfernung vom Drehpunkt sich befinden).

Die Stange mit den beiden Gewichten stellt einen Hebel dar, den man als zweiarmigen, gleicharmigen Hebel bezeichnet.

Ein zweiarmiger Hebel überhaupt ist ein solcher, dessen Kräfte auf verschiedenen Seiten vom Drehpunkt aus angreifen, oder: dessen Drehpunkt sich zwischen den Angriffspunkten der Kräfte befindet.

Gleicharmig heisst ein zweiarmiger Hebel, wenn seine Hebelarme gleich lang sind, ungleicharmig, wenn seine Hebelarme verschieden lang sind.

Aus dem oben Gesagten ergiebt sich das Hebelgesetz:

Ein (zweiarmiger) gleicharmiger Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die Kräfte einander gleich sind.

Unterscheidet man die Gewichte von einander als Kraft und Last, so lautet das Gesetz: Ein (zweiarmiger) gleicharmiger Hebel ist im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last einander gleich sind.

Will man einen ungleicharmigen (zweiarmigen) Hebel ins Gleichgewicht bringen, so muss an dem kürzeren Hebelarm eine grössere Kraft wirken als an dem längeren Hebelarm, und zwar muss, wie Versuche lehren, das Verhältniss der Kräfte das umgekehrte sein wie das der Hebelarme. (Hebelgesetz des Archimedes.)

Nennt man die Hebelarme a und b (Fig. 18) und die Kräfte p und q , so ist der Hebel im Gleichgewicht, wenn $\frac{p}{q} = \frac{b}{a}$ oder:

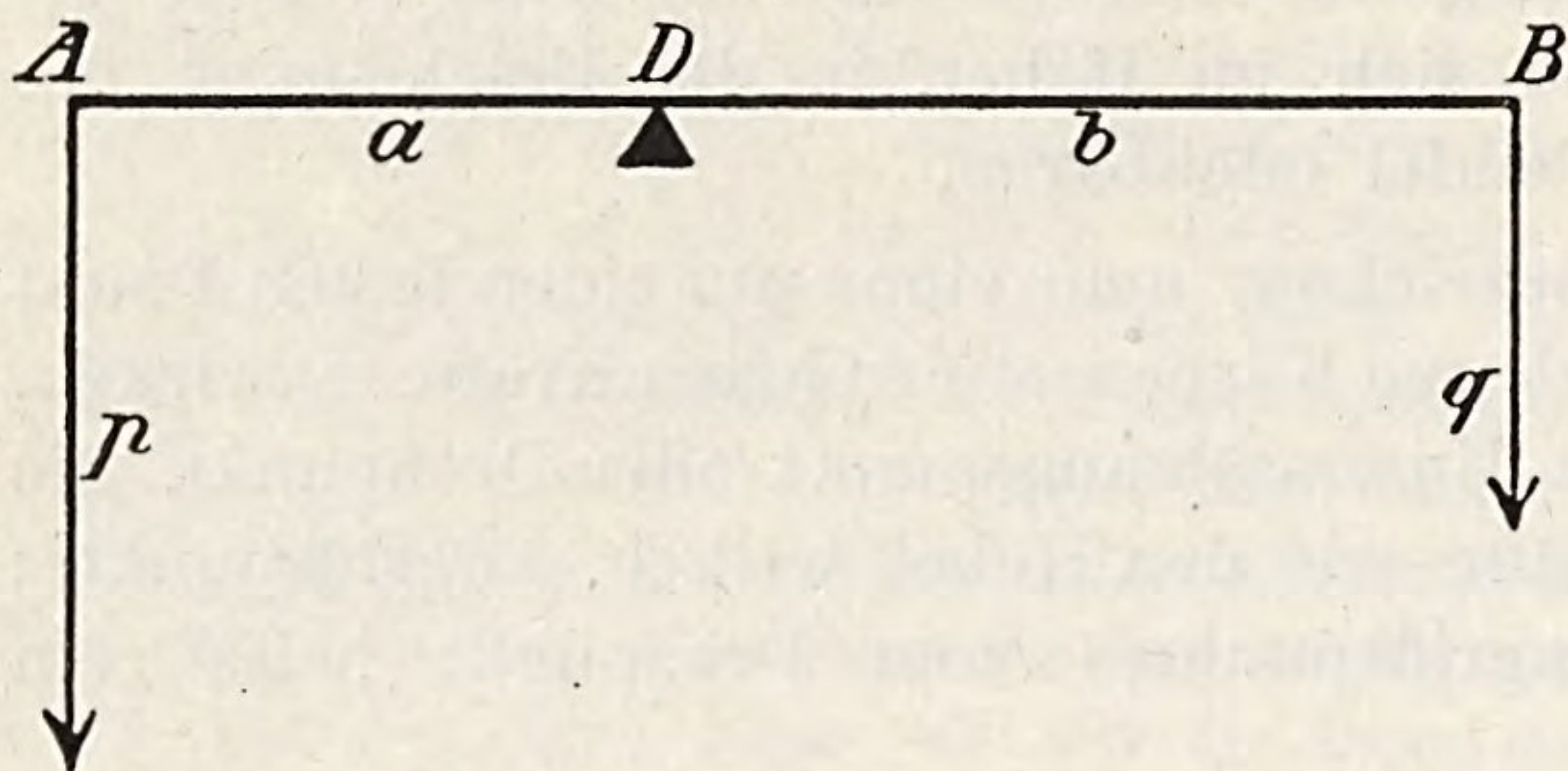


Fig. 18. Zweiarmiger, ungleicharmiger Hebel.

$pa = qb$. pa und qb sind die Produkte aus jeder der Kräfte und dem zugehörigen Hebelarm. Ein solches Produkt aus einer Kraft und dem zugehörigen Hebelarm heisst das statische Moment der Kraft. Ein ungleicharmiger Hebel ist

also im Gleichgewicht, wenn die statischen Momente der Kräfte einander gleich sind. Da diese Gleichheit auch beim gleicharmigen

Hebel statthat, so gilt das allgemeine Hebelgesetz:

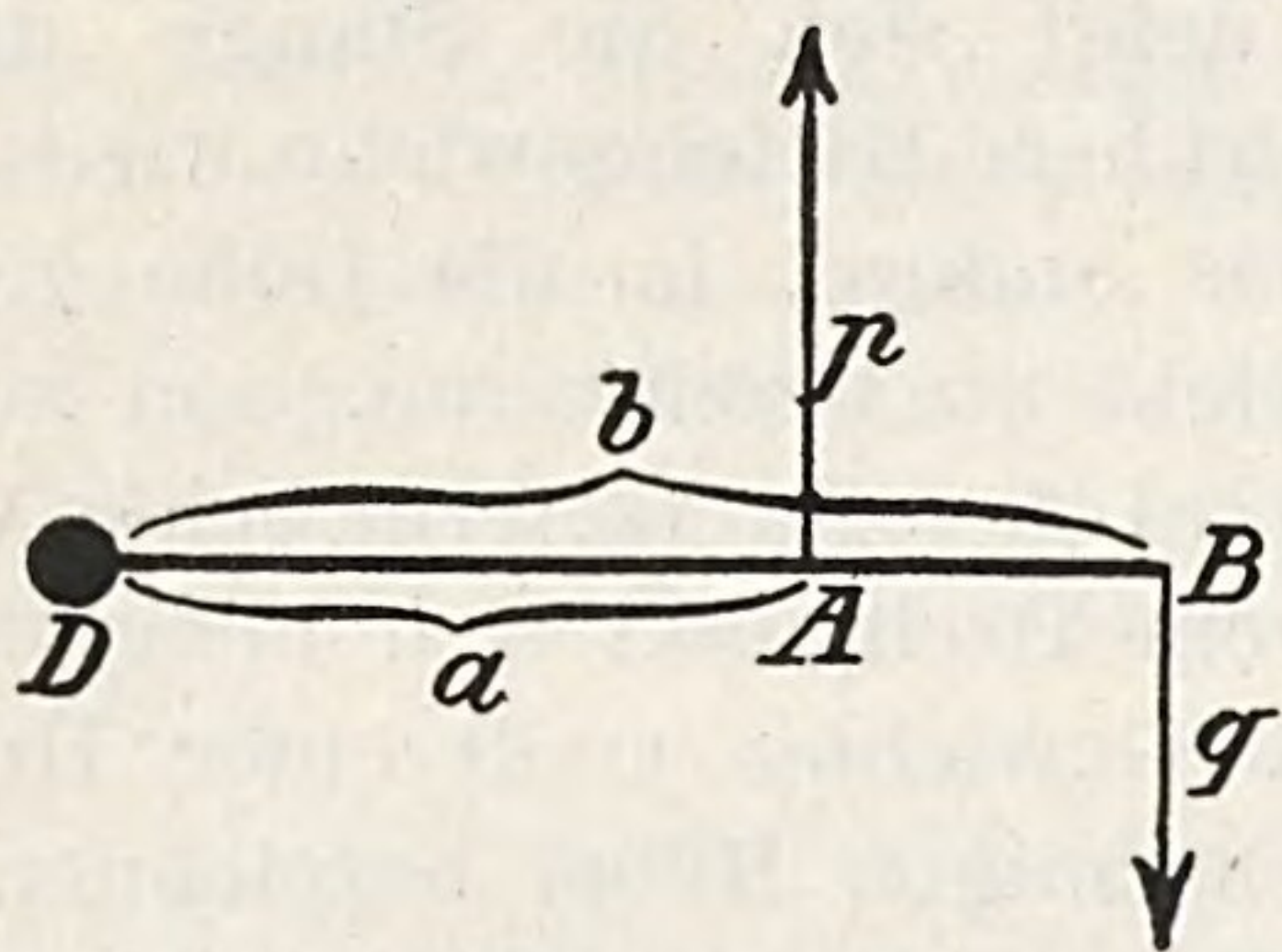


Fig. 19. Einarmiger Hebel.

Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die statischen Momente der Kräfte einander gleich sind oder, wenn man wiederum Kraft und

Last unterscheidet: Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Moment der Kraft gleich dem Moment der Last ist.

Derselbe Satz gilt nun auch für den einarmigen Hebel. Ein einarmiger Hebel ist ein Hebel, dessen Kräfte auf einer Seite vom Drehpunkt aus angreifen. Man nennt auch in diesem Falle die Entfernungen der Angriffspunkte vom Drehpunkte die Hebelarme; beide aber fallen zum Theil in einander (daher der Name „einarmiger“ Hebel).

Ein wichtiger Unterschied besteht zwischen der Wirkungsweise eines zweiarmigen und der eines einarmigen Hebels insofern, als

die Kräfte des zweiarmigen Hebels nicht nur parallel gerichtet sind, sondern auch in dem gleichen Sinne wirken, z. B. beide abwärts, während die Kräfte des einarmigen Hebels zwar parallel, aber in entgegengesetztem Sinne wirken müssen, damit Gleichgewicht bestehe. (Siehe Fig. 19.)

Anwendung der Hebelgesetze. Die Hebelgesetze finden mannichfache Anwendung. Die wichtigste Anwendung, welche die Wagen darstellen, kann erst erörtert werden, wenn vom Schwerpunkt die Rede gewesen sein wird.

Als zweiarmiger, ungleicharmiger Hebel wirkt der Hebebaum, wenn man ihn mit dem einen Ende unter die emporzuhebende Last schiebt, mit einer jenem Ende nahe befindlichen Stelle auf die Kante eines festen Gegenstandes legt und das andere Ende niederdrückt. Ebenso wirkt die Brechstange (Brecheisen); der Brunnenschwengel; der Spaten; die Thürklinke. Scheren und Zangen sind doppelte zweiarmige, ungleicharmige Hebel mit gemeinschaftlichem Drehpunkt. Alle diese Werkzeuge werden so benutzt, dass die Kraft an dem längeren Hebelarm wirkt; dadurch wird es er-

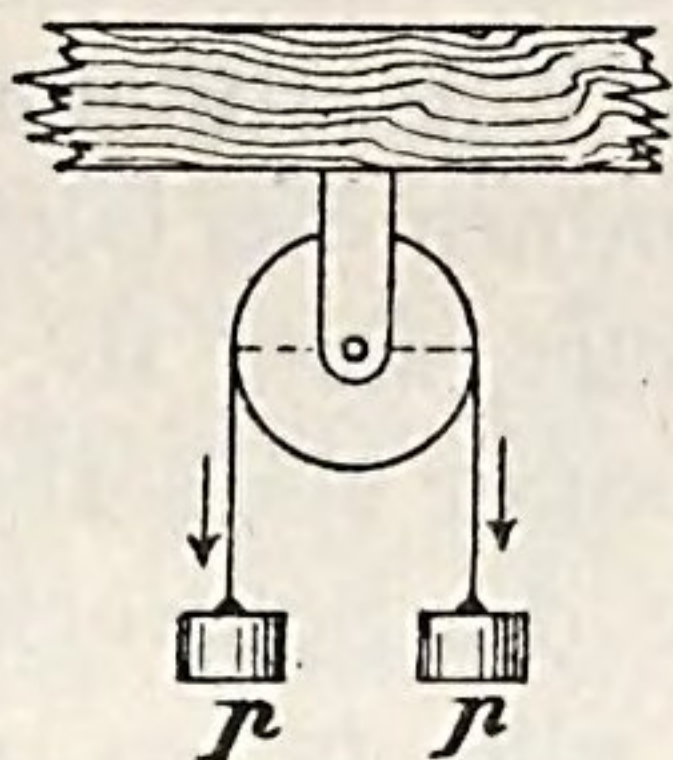


Fig. 20. Feste Rolle.

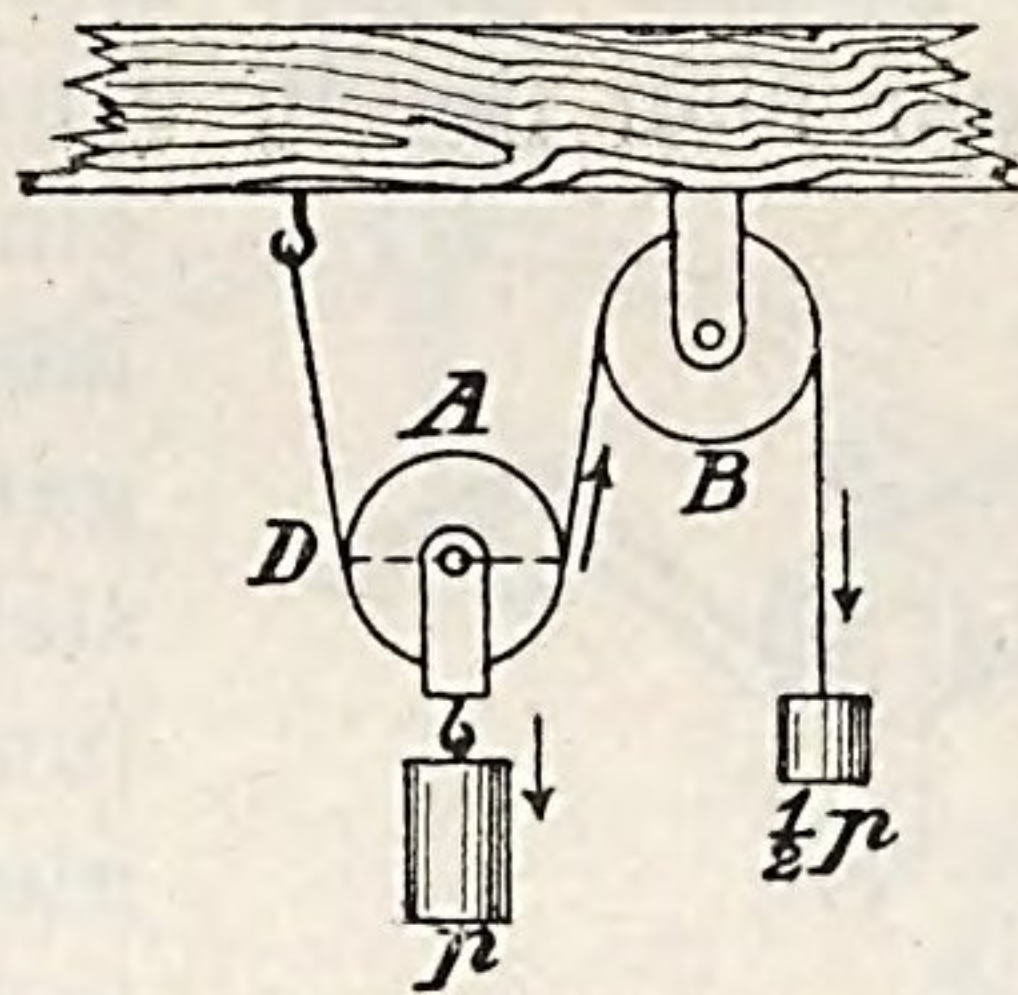


Fig. 21. Bewegliche Rolle (A) in Verbindung mit einer festen (B).

reicht, dass sie kleiner ist als die Last; man spart also an Kraft. Doch ist diese Kraftersparniss mit einem grösseren Zeitaufwand verbunden, da ein längerer Hebelarm an seinem Endpunkte grössere Wege zurückzulegen hat als ein kürzerer.

Ein Hebebaum kann auch als einarmiger Hebel Verwendung finden; es geschieht das, wenn man ihn etwa unter einen Wagen schiebt, sein eines Ende auf der Erde ruhen lässt und das andere emporhebt. Als einarmige Hebel sind ferner anzusehen: die Schubkarre, die Stroh- und Tabaksschneiden, die Brotmaschine, die Wurzelschneidemaschine (vergl. Fig. 47 a. S. 125 des Praktischen Theils), die Differentialhebelpresse (vergl. Fig. 106 a. S. 176 des Praktischen Theils), das Sicherheitsventil an Dampfmaschinen; doppelte einarmige Hebel stellen der Nussknacker und die Citronenpresse dar. Der menschliche Arm ist ebenfalls ein einarmiger Hebel; der Drehpunkt liegt im Ellbogengelenk, die Kraft liefert der zweiköpfige Armmuskel an der Vorderseite des Oberarms, die Last ist der Unterarm mit der Hand und den von dieser etwa getragenen Gegenständen.

Rolle. Als Hebel ist ferner die Rolle anzusehen, eine kreisrunde Scheibe, welche an ihrem Umfange eine zur Aufnahme einer Schnur bestimmte Rinne besitzt. Um sich die Hebelwirkung klar zu machen, denke man sich einen wagerechten

Durchmesser gezogen. Alsdann erkennt man, dass die feste Rolle (Fig. 20) ein gleicharmiger Hebel ist, dessen Drehpunkt der Mittelpunkt der Rolle ist. Sie befindet sich also im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last einander gleich sind. Die bewegliche Rolle (Fig. 21, *A*) ist ein einarmiger Hebel, dessen Drehpunkt (*D*) im Umfang der Rolle liegt. Sie ist im Gleichgewicht, wenn die Kraft halb so gross ist wie die Last. Eine Verbindung mehrerer fester und beweglicher Rollen ist der Flaschenzug.

Wellrad. Das Wellrad (oder Rad an der Welle), welches aus einer Walze und einem an derselben konzentrisch befestigten Rade besteht, wirkt als zweiarmiger, ungleicharmiger Hebel. Ein Wellrad, welches auf eine einzelne, mit Handgriff versehene Speiche beschränkt ist, heisst eine Kurbel. Sie findet sich z. B. an der Winde (Fig. 22, *A*; *B* ist die Welle), der Drehrolle, der Kaffeemühle u. s. w.

Als Wellrad wirken auch die Zahnräder, Scheiben, welche an ihrem Umfange Vorsprünge — die Zähne — tragen, mit denen sie in die Lücken zwischen den Zähnen anderer Zahnräder oder einer Zahnstange eingreifen.

Schwerpunkt. Wenn man einen Stab quer über einen Finger legt, so kann man ihn in einem Punkte so unterstützen, dass die eine Seite der andern das Gleichgewicht hält. Dies erklärt sich so, dass der ganze Stab aus lauter Massetheilchen besteht, auf welche die Schwerkraft wirkt (und zwar auf alle in — nahezu — gleicher Richtung — vergl. S. 28) und welche zu dem Unterstützungspunkte so liegen, dass die Summe der statischen Momente aller Massetheilchen auf

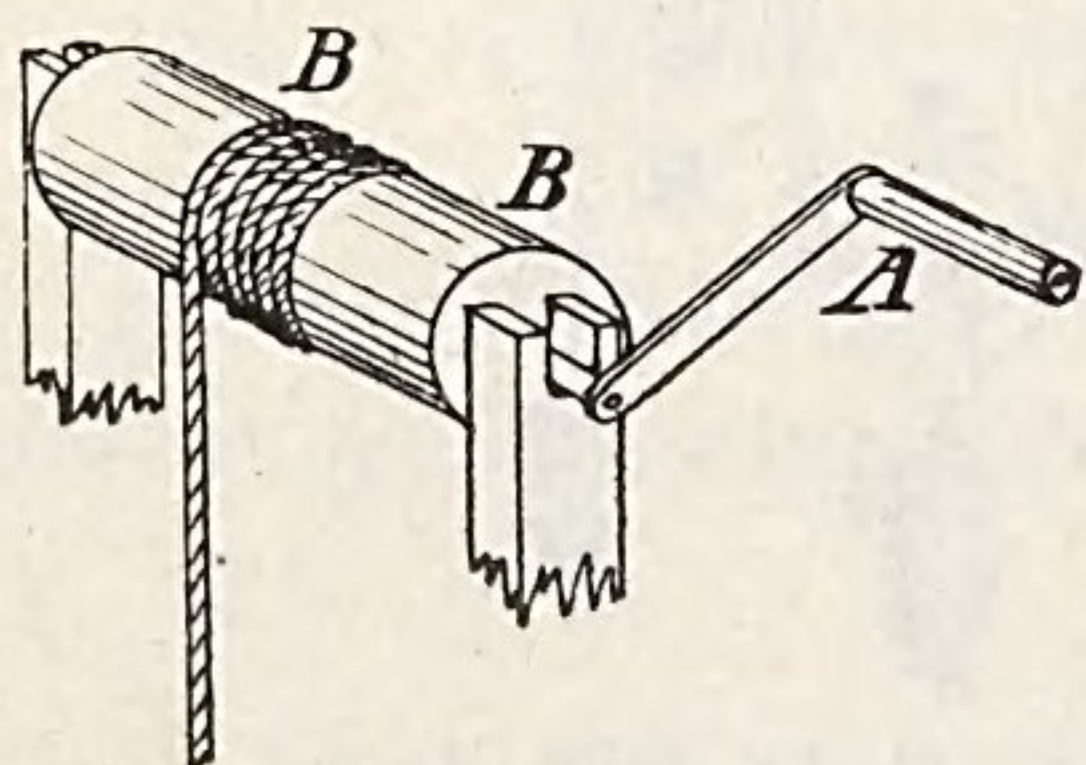


Fig. 22. Winde.

der einen Seite gleich der auf der andern Seite vom Unterstützungspunkte aus ist.

Wird eine Visitenkarte im Mittelpunkte, d. h. im Schnittpunkte der Diagonalen, durchbohrt und mit der Oeffnung auf eine Nadel gesteckt, so befindet sie sich in allen Lagen, die man ihr giebt, (nahezu) im Gleichgewicht. Der Grund hiervon ist der, dass, wie man die Karte auch stellen mag, ein durch den Unterstützungspunkt gehender senkrechter Schnitt sie stets in zwei gleiche Theile zerlegen würde, derart, dass wie im vorigen Beispiel die Summe der statischen Momente aller Massetheilchen links von diesem Schnitt gleich derjenigen rechts oder kürzer: dass das statische Moment der linken Hälfte der Karte gleich dem der rechten Hälfte sein würde.

Während sich in den beiden vorstehenden Beispielen nur die Massetheilchen links und rechts vom Unterstützungspunkt bzw. von einer durch denselben gehenden senkrechten Ebene das Gleich-

gewicht halten, besitzt jeder Körper auch einen Punkt von einer derartigen Beschaffenheit, dass alle Massetheilchen rings um ihn herum einander das Gleichgewicht halten. Ein solcher Punkt heisst der Schwerpunkt des Körpers, weil, wenn der Körper in ihm unterstützt wird, die Schwerkraft keine Bewegungswirkung mehr auf den Körper auszuüben vermag, sondern dieser sich so verhält, als wäre seine ganze Schwere (bezw. seine Masse) in dem fraglichen Punkte vereinigt.

Der Schwerpunkt eines geraden und seiner ganzen Länge nach gleich starken und gleich schweren Stabes liegt in der Mitte im Innern des Stabes; der Schwerpunkt einer Visitenkarte im Schnittpunkte der Diagonalen, aber ebenfalls im Innern, in der Mitte zwischen beiden Kartenseiten (die Karte hat eine gewisse Dicke oder Stärke!).

Der Schwerpunkt eines Körpers, der in allen seinen Theilen (oder wenigstens in allen den Theilen, die zu einer ihn symmetrisch theilenden Ebene symmetrisch liegen) gleich schwer ist, fällt mit seinem geometrischen Mittelpunkt zusammen. Derselbe braucht nicht immer im Innern des Körpers zu liegen. Das in Fig. 23 dargestellte System, bestehend aus einem Kegel, einem durch denselben gehenden Bügel und zwei an dessen Enden befestigten Kugeln, hat seinen Schwerpunkt auf der punktierten Linie unterhalb der Kegelspitze, also in der freien Luft.

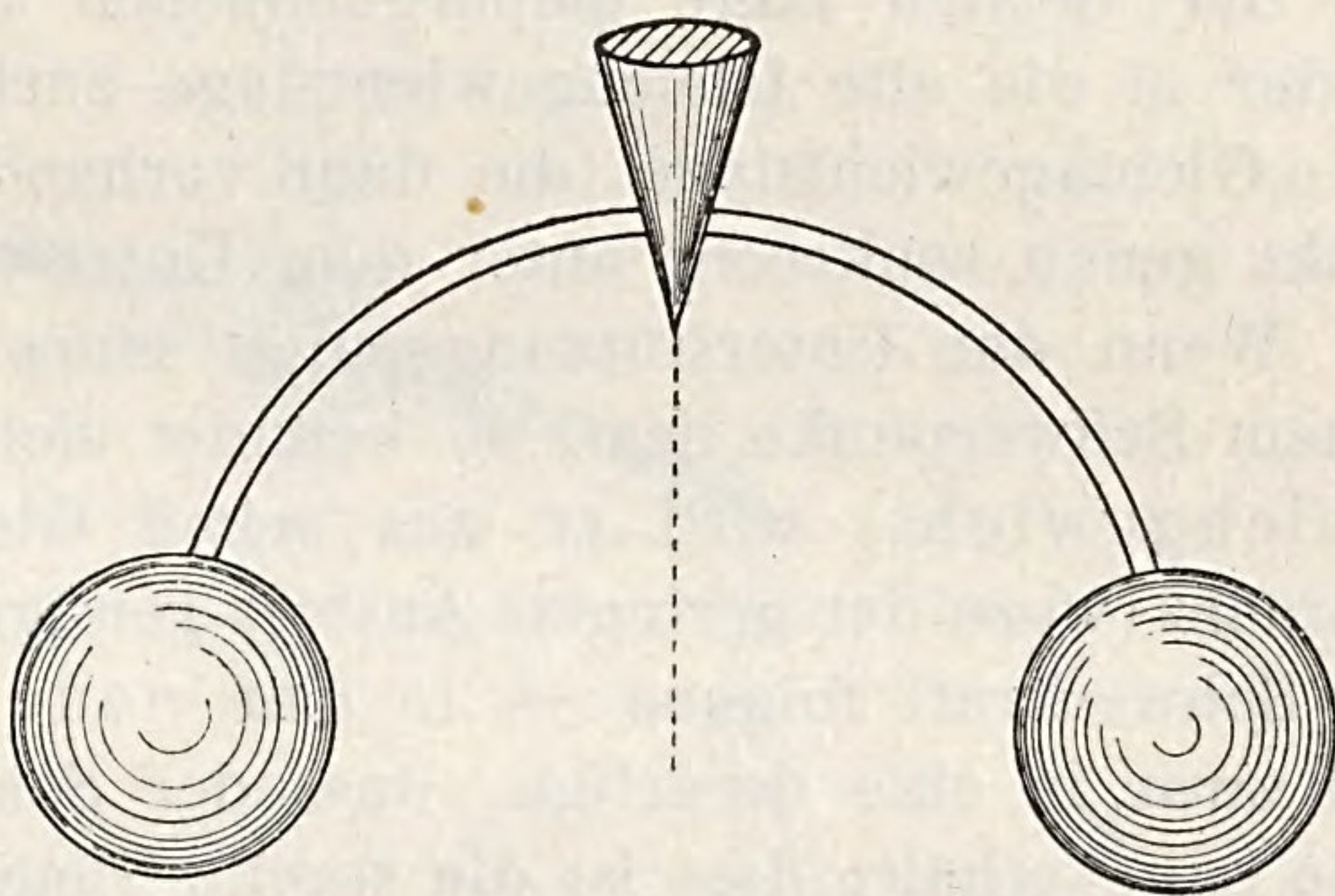


Fig. 23. Schwebender Kegel.

Der Schwerpunkt eines Körpers, der aus mehrerlei Stoff besteht und daher in seinen verschiedenen Theilen verschiedene Schwere besitzt (oder kürzer, da die Schwere von der mehr oder weniger dichten Anhäufung der Massetheilchen abhängt: der Schwerpunkt eines Körpers von ungleicher Dichtigkeit) liegt (dem Gesetz vom Gleichgewicht des ungleicharmigen zweiarmigen Hebels entsprechend) vom geometrischen Mittelpunkte aus nach der Seite hin, wo der Körper am schwersten ist.

Arten des Gleichgewichts. Wird ein Körper in einem andern Punkte als seinem Schwerpunkt unterstützt, so hat die Seite, auf welcher der Schwerpunkt (vom Unterstützungspunkte aus) liegt, das Uebergewicht, und der Körper fällt, bis der Schwerpunkt die tiefste Stelle, die er einnehmen kann, erlangt hat.

Man kann von jedem Körper, insofern er ein Ganzes darstellt, annehmen, dass die Schwerkraft ihn nur in seinem Schwerpunkte angreift.

Je nach der Art der Unterstützung eines Körpers in einem Punkte unterscheidet man drei Arten des Gleichgewichts des Körpers.

Wird ein Körper in seinem Schwerpunkt unterstützt, so befindet er sich im indifferenten Gleichgewicht; er verharret unverändert in allen Lagen, die man ihm giebt; jede Lage ist eine Gleichgewichtslage.

Wenn der Unterstützungspunkt eines Körpers senkrecht über seinem Schwerpunkt liegt, so befindet sich der Körper im stabilen Gleichgewicht; wird er aus seiner Gleichgewichtslage herausgebracht, so fällt er — der Schwerkraft folgend, die ihn in seinem aus der tiefsten Lage emporgehobenen Schwerpunkt angreift — wieder in die alte Gleichgewichtslage zurück; der Körper hat nur eine Gleichgewichtslage (die dann vorhanden ist, wenn der Schwerpunkt genau senkrecht unter dem Unterstützungspunkt liegt).

Wenn der Unterstützungspunkt eines Körpers senkrecht unter seinem Schwerpunkt liegt, so befindet sich der Körper im labilen Gleichgewicht; wird er aus seiner Gleichgewichtslage herausgebracht (wozu der geringste Anstoss genügt), so geht er — wiederum der Schwerkraft folgend — in eine neue Gleichgewichtslage über, und zwar in eine derartige, dass der Schwerpunkt die tiefst mögliche Lage erhält; dies ist die stabile Gleichgewichtslage; im labilen Gleichgewicht giebt es nach dem Gesagten auch nur eine Gleichgewichtslage (die dann vorhanden ist, wenn der Schwerpunkt genau senkrecht über dem Unterstützungspunkt liegt).

Wird ein Körper statt in einem Punkte durch eine Fläche unterstützt, so kann von den drei eben besprochenen Gleichgewichtsarten nicht die Rede sein; vielmehr steht in diesem Falle der Körper nur mehr oder weniger stabil (und dem entsprechend weniger oder mehr labil).

Jeder durch eine Fläche unterstützte Körper bleibt überhaupt so lange stehen, als sein Schwerpunkt senkrecht über seiner Unterstützungsfläche liegt; er fällt in dem Augenblicke, wo ein durch den Schwerpunkt gezogen gedachtes Loth, in dessen Richtung ja die Schwerkraft auf den Körper wirkt, nicht mehr durch die Unterstützungsfläche, sondern seitlich an ihr vorbei geht und somit der Schwerpunkt nicht mehr unterstützt ist.

Je grösser daher die Unterstützungsfläche eines Körpers ist und je näher sein Schwerpunkt der Mitte der Unterstützungsfläche

liegt (insbesondere: je tiefer er liegt), desto stabiler ist der Körper (d. h. desto fester und sicherer steht er).

Wagen. Ihre wichtigste Anwendung finden die Hebelgesetze in den Wagen (vergl. S. 43). Wir betrachten die gewöhnliche oder gleicharmige Wage, die Schnellwage und die Brückenwage.

Gewöhnliche Wage. Die gewöhnliche oder gleicharmige Wage (Fig. 24a) besteht aus dem Wagebalken (BB) mit der Zunge (Z), der Schneide (s) nebst den Pfannen (p) und den Bügeln (bei B) mit den Wageschalen (WW). Die Schneide (auch Zapfen genannt) und die Pfannen sind aus polirtem Stahl hergestellt.

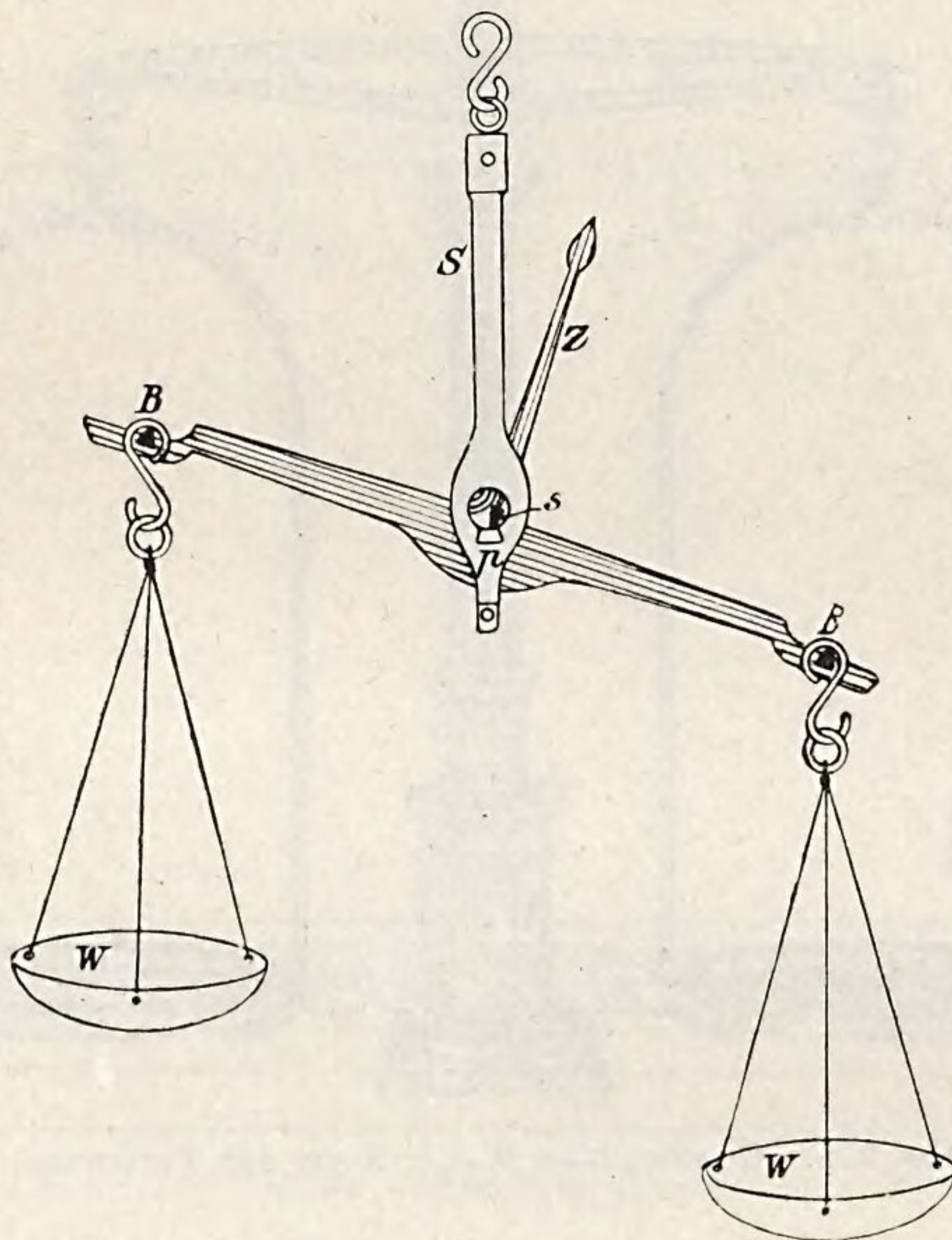


Fig. 24a. Gewöhnliche Wage; Form der Handwage.

Die Pfannen sind bei der in Fig. 24a abgebildeten Form der gleicharmigen Wage Theile der Schere (S), welche entweder mit der Hand gehalten oder von einem besonderen Gestell (Stativ) getragen wird. (Fig. 24b. Tarirwage.) Die Einrichtung der feineren, insbesondere der chemischen Wagen zeigt Fig. 25.

Die Wagen dienen zur Feststellung des Gewichtes eines Körpers. Ihre Handhabung geschieht in der Weise, dass der zu wägende Körper auf die eine Wageschale gelegt wird, die Gewichte auf die andere und dass nun Gleichgewicht hergestellt wird. Dann geben die Gewichte (Maassgewichte) unmittelbar das Gewicht (die Grösse der Schwere) des Körpers an. Das Gleichgewicht erkennt man daran, dass sich der Wagebalken wagerecht oder horizontal, die rechtwinklig an ihm befestigte Zunge senkrecht oder vertikal stellt.

Eine gute Wage muss richtig und empfindlich sein. Richtig ist sie, wenn: 1. beide Hebelarme des Wagebalkens gleiches Gewicht haben, 2. beide Arme gleich lang sind, 3. der Unterstützungspunkt (bei s in Fig. 24 a) und die beiden Aufhängepunkte (Fig. 24 a, BB) in gerader Linie liegen, 4. der Wagebalken die erforderliche Festigkeit besitzt, so dass keine Verbiegung stattfindet. Empfindlich ist die Wage, wenn: 1. der Schwerpunkt des Wagebalkens unter dem Unterstützungspunkte, aber in möglichster Nähe desselben liegt, 2. die Hebelarme möglichst lang sind, 3. ihr Gewicht ein geringes ist, 4. die Reibung zwischen Schneide und Pfannen sowie an der Aufhängevorrichtung der Bügel eine möglichst unbedeutende ist.

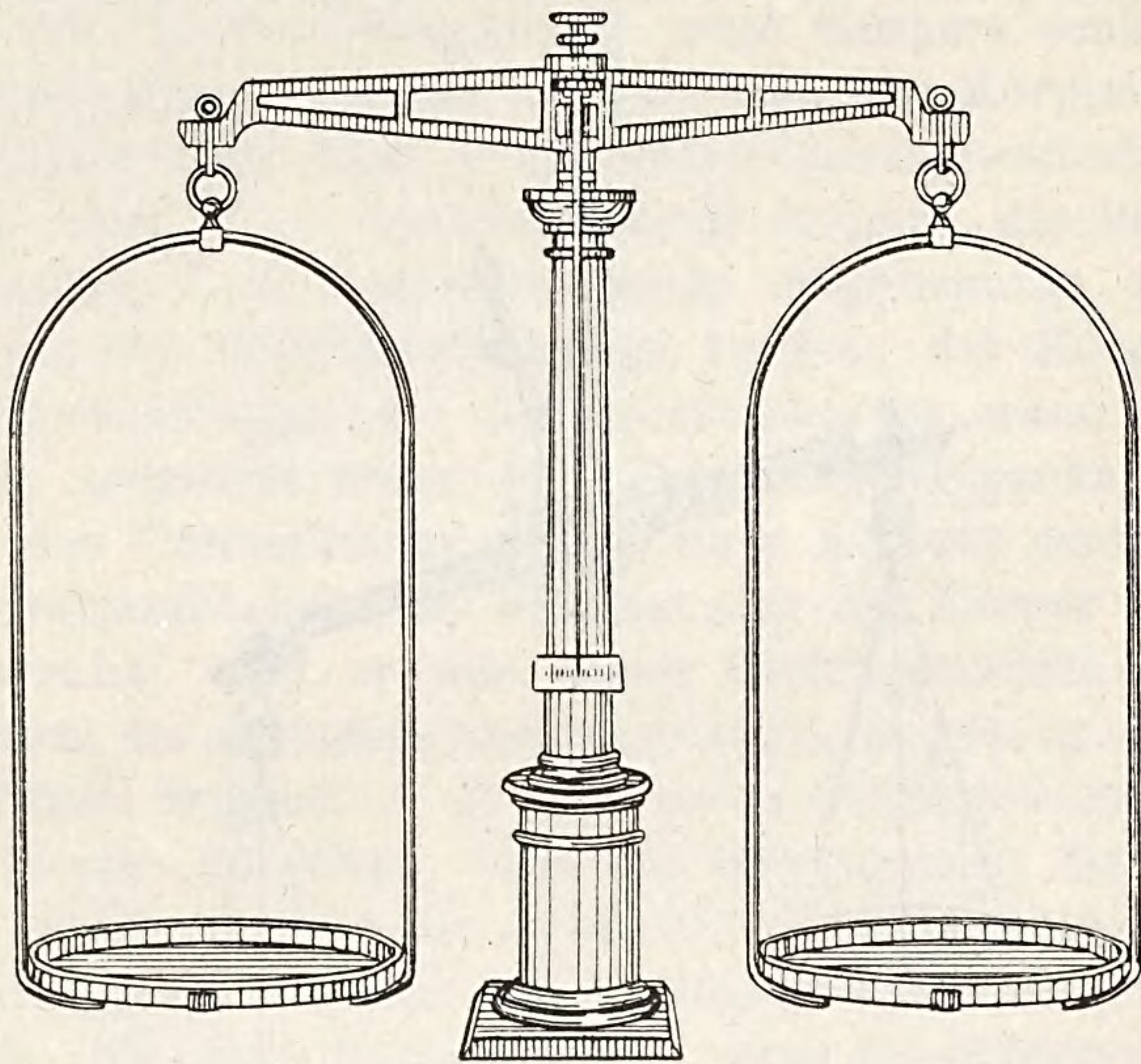


Fig. 24b. Gewöhnliche Wage; Form der Tarirwage.

Die für die Richtigkeit der Wage aufgestellten Bedingungen erklären sich insofern, als bei ihrer Vernachlässigung die Wage (bezw. der Wagebalken) keinen gleicharmigen Hebel vorstellt; was den 4. Punkt — die Festigkeit des Wagebalkens — anbetrifft, so ist zu bemerken, dass durch Verbiegung eines Hebelarmes eine Verkürzung desselben eintreten würde. Zu ermitteln sind die genannten Bedingungen auf folgende Weise: Das gleiche Gewicht der Hebelarme durch Abnahme der Wageschalen; ihre gleiche Länge, indem man sie beide gleich belastet, dann die Belastung vertauscht und zusieht, ob wieder Gleichgewicht herrscht; die gleich hohe Lage des Unterstützungs- und der Aufhängepunkte durch einen gespannten Faden.

Die Gründe für die Bedingungen, von denen die Empfindlichkeit der Wage abhängt, sind diese: 1. Das Gleichgewicht des Wagebalkens muss ein stabiles sein; läge der Schwerpunkt im Unterstützungspunkt, so würde sich der Wagebalken in allen Lagen im Gleichgewicht befinden, die man ihm giebt

(indifferentes Gleichgewicht) — was natürlich nicht der Fall sein darf; läge der Schwerpunkt gar über dem Unterstützungspunkt, so würde labiles Gleichgewicht herrschen, der Wagebalken würde bei der kleinsten Mehrbelastung auf einer Seite umschlagen, die Wage wäre überempfindlich. 2. Je länger die Hebelarme sind, desto stärker wirkt ein Uebergewicht auf einer Seite der Wage, desto grösser ist also der Ausschlag, den es hervorruft. 3. Je leichter der Wagebalken ist, eine desto geringere Kraft genügt, ihn in Bewegung zu versetzen. 4. Je unbedeutender die Reibung ist, desto leichter kann ebenfalls der Wagebalken in Bewegung versetzt werden.

Um den Wagebalken gleichzeitig möglichst lang, leicht und fest zu machen, giebt man ihm (bei den feineren Wagen, Fig. 25) eine rhombenähnliche Gestalt und stellt ihn durchbrochen her. Herstellungsmaterial: Messing,

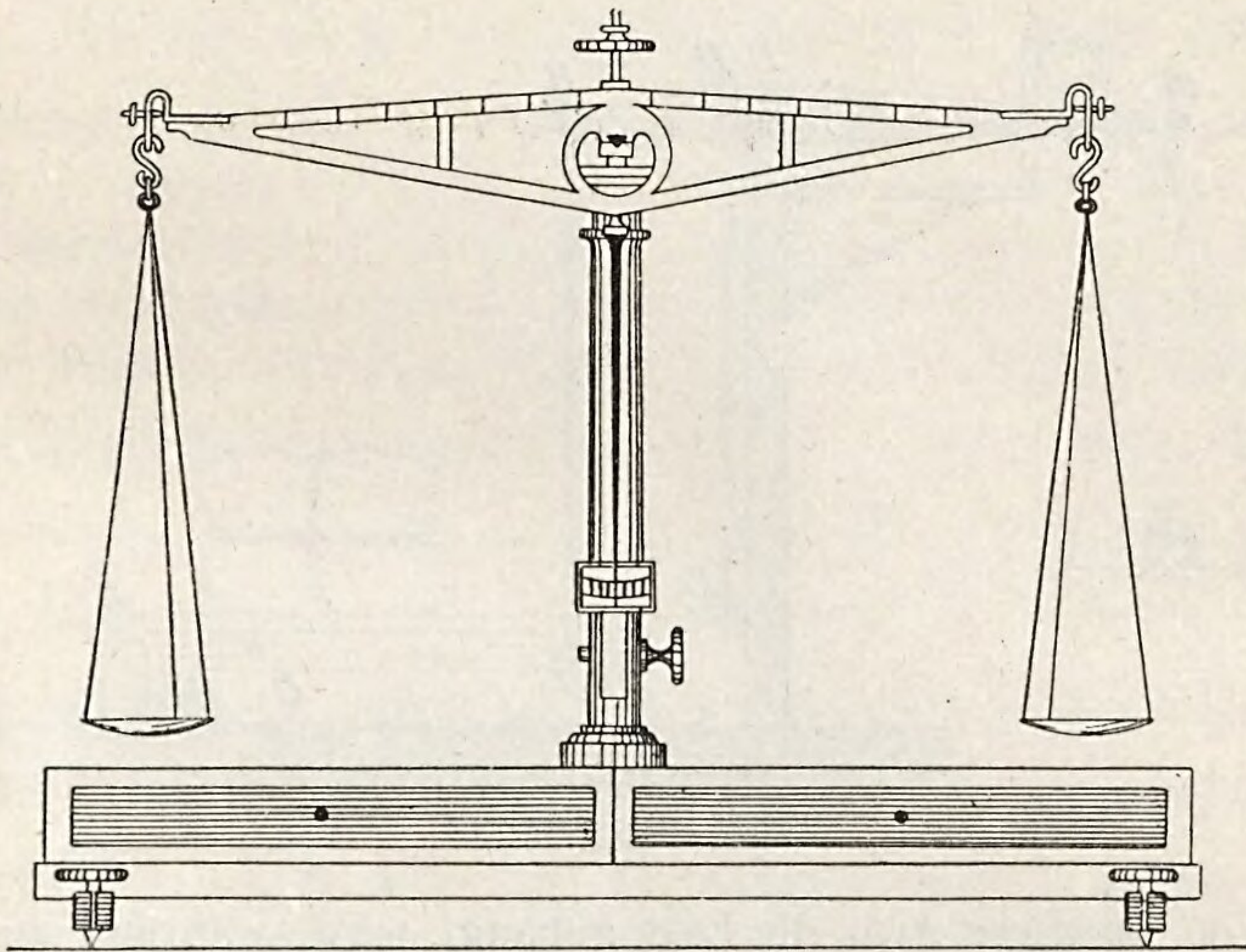


Fig. 25. Chemische Wage.

auch Aluminium. Eine verstellbare Schraube senkrecht ober- oder unterhalb des Schwerpunktes des Wagebalkens ermöglicht es, den Schwerpunkt dem Unterstützungspunkte zu nähern oder von ihm zu entfernen und dadurch die Empfindlichkeit der Wage zu reguliren. Die sogenannte „Arretirung“ ist eine Vorrichtung, durch welche der Wagebalken mit den Schalen beim Nichtgebrauch emporgehoben werden kann, so dass die Schneide und die Pfannen sich nicht berühren.

Den Grad der Empfindlichkeit einer Wage bestimmt man nach dem kleinsten Gewicht, welches bei grösster Belastung der Wage noch einen deutlichen Ausschlag bewirkt. Ist dies Gewicht = a , die grösste (einseitige) Belastung = b , so stellt den Grad der Empfindlichkeit der Bruch $\frac{a}{2b}$ dar; derselbe giebt an, den wievielten Theil das Minimalgewicht von der Maximalbelastung ausmacht.

Um Wägungen bis auf Milligramme genau vornehmen zu können, verwendet man, da sich kleinere Gewichte als 1 Centigramm nicht genau herstellen lassen, folgenden Kunstgriff. Man theilt die Arme des Wagebalkens in je 10 gleiche Theile ein (Fig. 25) und verwendet 1 Centigramm in Form eines gebogenen Drahtes (Reiter) so, dass man es auf den Wagebalken in beliebigen Abständen vom Unterstützungspunkte aufsetzt. Während es dann am Ende des Wagebalkens als 1 Centigramm wirkt, wirkt es in $\frac{1}{10}$ der Entfernung vom Unterstützungspunkt als $\frac{1}{10}$ cg = 1 mg, in $\frac{2}{10}$ der Entfernung als $\frac{2}{10}$ cg = 2 mg u. s. w.

Schnellwage. Zum raschen Wägen, namentlich grösserer Lasten, bei dem es nicht auf grosse Genauigkeit ankommt, bedient man sich der Schnellwage, welche einen ungleicharmigen Hebel darstellt,

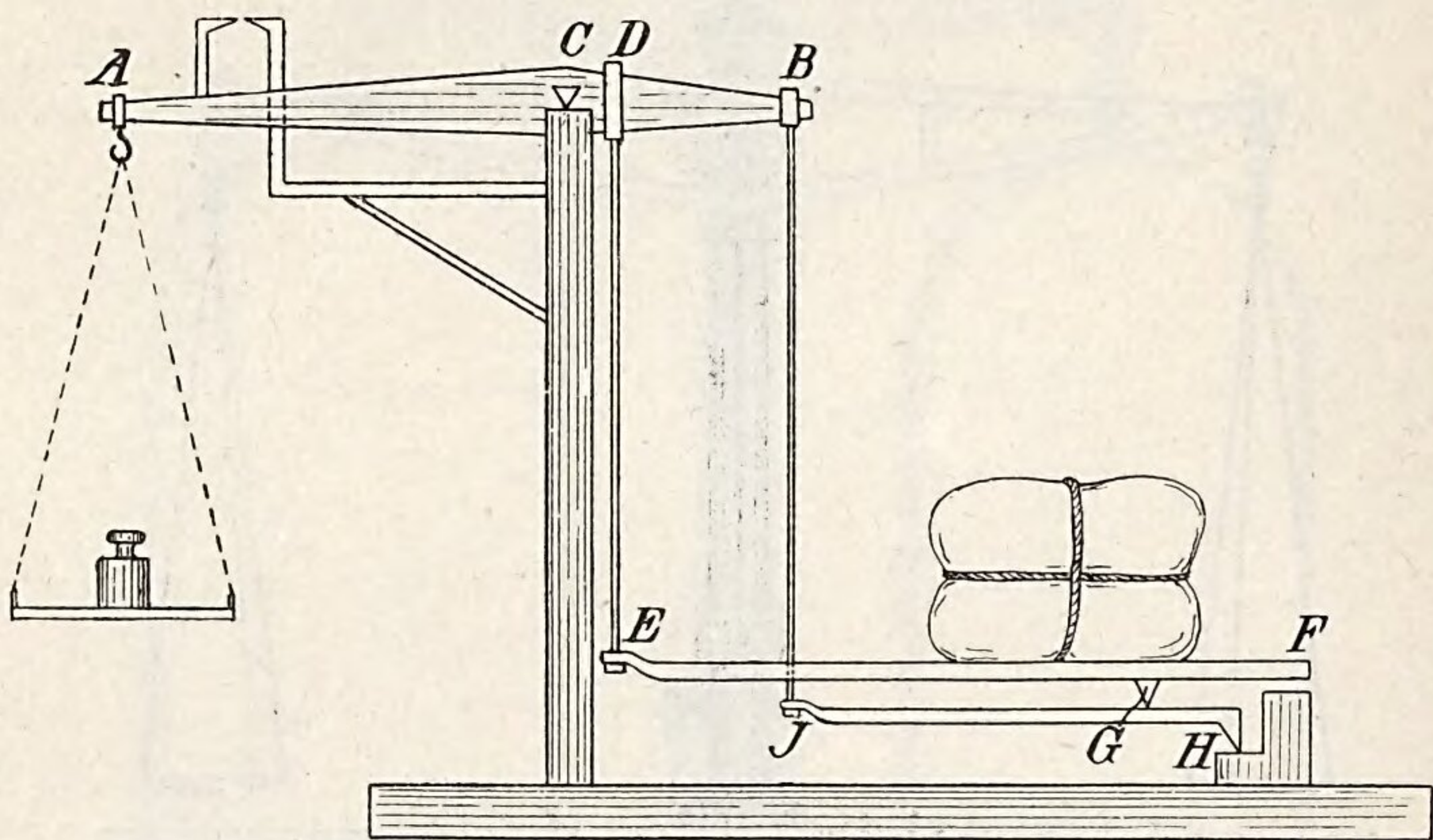


Fig. 26. Decimalwage.

an dessen kürzeren Arm die Last gehängt wird, während auf dem, mit einer Eintheilung versehenen, längeren Arm das sogenannte Laufgewicht in solche Entfernung vom Unterstützungspunkt gebracht werden kann, dass Gleichgewicht herrscht. Tritt dieses z. B. ein, wenn das — sagen wir: 500 g schwere — Laufgewicht sich dreimal so weit vom Unterstützungspunkte befindet als die Last, so wiegt die letztere $3 \cdot 500 = 1500$ g.

Brückenwage. Um sehr umfangreiche und schwere Lasten zu wägen, bedient man sich der Brückenwagen, die theils Decimalwagen, theils Centesimalwagen sind. Nur die ersteren, welche die häufiger vorkommenden sind, wollen wir betrachten.

In Fig. 26 ist AB der Wagebalken, der einen ungleicharmigen zweiarmigen Hebel darstellt, C der Unterstützungspunkt und EF die Brücke, auf welche die Last gebracht wird. Diese Brücke ist in zwei Punkten unterstützt: in E durch eine Stange, welche von

dem kürzeren Arm des Wagebalkens CB in D getragen wird, und in G durch den unter der Brücke befindlichen einarmigen Hebel JH , dessen Drehpunkt H ist, während sein Endpunkt J durch die feste Verbindung BJ von dem kürzeren Arm des Wagebalkens emporgehalten wird.

Die Wage ist derartig gebaut, dass $CB = \frac{1}{2} CA$; $CD = \frac{1}{10} CA = \frac{1}{5} CB$; $HG = \frac{1}{5} HJ$.

Die Last wirkt nun mit einem Theil ihres Gewichtes — nennen wir ihn p — niederziehend auf den einen Unterstützungspunkt der Brücke: E und damit auf D . Diesem Zuge wird durch ein Gewicht $= \frac{1}{10} p$, das auf die in A hängende Wageschale gelegt wird, das Gleichgewicht gehalten, da $CA = 10 CD$. Mit dem Reste ihres Gewichtes — nennen wir ihn q — wirkt die Last auf den andern Unterstützungspunkt der Brücke: G und damit an der gleichen Stelle auf den einarmigen Hebel. Soll ein Niedersinken desselben verhindert werden, so muss derselbe in J bzw. B mit einer Kraft $= \frac{1}{5} q$ emporgehalten werden, da $HJ = 5 \cdot HG$. Diese Wirkung wird erreicht, wenn man auf die Wageschale links ein Gewicht $=$ der Hälfte dieser Kraft $= \frac{1}{10} q$ setzt, da $CA = 2 CB$.

Es ist hiernach ersichtlich, dass auf der beschriebenen Wage eine Last $p + q$ mit einem Gewicht $= \frac{1}{10} (p + q)$ — d. h. mit einem Gewicht, das nur den 10. Theil der Last beträgt — gewogen werden kann; daher der Name Decimalwage.

Die Einrichtung der Centesimalwagen ist eine derartige, dass die Gewichte nur den 100. Theil der zu wiegenden Lasten betragen.

Pendel. Wenn man die Bleikugel eines Lothes, wie wir es auf S. 28 beschrieben haben, aus ihrer Lage senkrecht unter dem Aufhängepunkte des Lothes heraushebt und dann loslässt, so fällt sie — der Schwerkraft folgend — zunächst wieder in ihre frühere — tiefste — Lage zurück (vgl. stabiles Gleichgewicht!), geht aber — auf Grund des Beharrungsgesetzes — über diese Lage hinaus und erhebt sich nach der entgegengesetzten Seite hin bis zu einem Punkte, der in gleicher Höhe über der Horizontal-Ebene liegt wie derjenige, in welchem man zuvor die emporgehobene Kugel losgelassen hatte. Hierauf führt die Bleikugel die entgegengesetzte Bewegung aus und so fort, bis sie durch den Luftwiderstand und

die Reibung des Fadens am Aufhängepunkte nach kürzerer oder längerer Zeit in ihrer tiefsten Lage zur Ruhe gelangt.

Wie die Kugel, führt aber auch das ganze Loth hin- und hergehende Bewegungen aus, und zwar um seine ursprüngliche senkrechte Stellung als mittlere Gleichgewichtslage; derartige hin- und hergehende Bewegungen eines Körpers um eine mittlere Gleichgewichtslage nennt man Schwingungen, den schwingenden Körper ein Pendel. Das in der geschilderten Weise schwingende Loth ist die einfachste Art eines Pendels: ein sog. Fadenpendel.

Ist der schwere Körper (hier die Bleikugel) an einer starren Stange befestigt, so haben wir es mit einem Stangenpendel zu thun, wie es die Pendeluhren besitzen. Der schwere Körper der Stangenpendel hat meist linsenförmige Gestalt, weil er dadurch besser in den Stand gesetzt ist, die Luft zu durchschneiden; er heisst Pendellinse.

Fadenpendel und Stangenpendel werden als physische oder zusammengesetzte Pendel bezeichnet. Unter einem mathematischen oder einfachen Pendel (das es nur in Gedanken giebt) versteht man ein Pendel, bei dem die Masse des schweren Körpers in einem Punkte vereinigt ist, der an einem unausdehnbaren und gewichtslosen Faden hängt.

Folgende Begriffe, die sich auf das Pendel und die Pendelbewegung beziehen, sind noch besonders zu merken.

Als Pendellänge bezeichnet man die Entfernung des Aufhängepunktes — oder Schwingungsmittelpunktes — vom Schwerpunkte des schweren Körpers.

Eine Schwingung ist die Bewegung dieses Schwerpunktes (bezw. des schweren Körpers oder des ganzen Pendels) von einer äussersten Lage bis zur entgegengesetzten; eine Doppelschwingung ist die Bewegung des Schwerpunktes von einer äussersten Lage bis zur entgegengesetzten und wieder zurück.

Der Weg — ein Kreisbogen —, den der Schwerpunkt des schwingenden Körpers bei einer Schwingung zurücklegt, heisst Schwingungsbogen, seine Grösse wird als Schwingungsweite (oder Amplitude der Oscillation) bezeichnet.

Die Zeit, in welcher der Schwerpunkt (bezw. der schwere Körper oder das Pendel) eine Schwingung zurücklegt, heisst Schwingungsdauer.

Die Anzahl der Schwingungen in einer Zeiteinheit (gewöhnlich 1 Minute, aber bei schnellen Schwingungen auch 1 Sekunde) wird Schwingungszahl genannt.

Pendelgesetze. Je grösser die Schwingungsdauer eines Pendels — oder allgemeiner: eines schwingenden Körpers überhaupt —, desto kleiner die Schwingungszahl. Schwingungsdauer und Schwingungszahl stehen im umgekehrten Verhältniss zu einander; ihr Produkt ist (unter der Voraussetzung derselben Zeiteinheit für beide) $= 1$.

Ein Pendel, dessen Schwingungsdauer 1 Sekunde ist, heisst ein Sekundenpendel; seine Länge ist (in Europa, in Höhe des Meeresspiegels) ungefähr 1 Meter.

Wird ein Pendel in mässige Bewegung versetzt, so ist, während die Schwingungsweite allmählich abnimmt, die Schwingungsdauer fortwährend dieselbe (und damit auch die Schwingungszahl). (Gesetz vom Isochronismus der Schwingungen.)

Die Schwingungsdauer des Pendels ist ferner von der Masse und Stoffart (oder Substanz) des schweren Körpers unabhängig. — Diese Thatsache entspricht dem Gesetz, dass alle Körper (im leeren Raume) gleich schnell fallen.

Wohl aber ändert sich die Schwingungsdauer (und damit die Schwingungszahl) mit der Pendellänge; und zwar verhalten sich die Schwingungsdauern ungleich langer Pendel wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen.

Da die Pendelbewegung in erster Linie durch die Schwerkraft hervorgerufen wird, so nimmt die Schwingungsdauer zu (die Schwingungszahl ab), wenn die Grösse der Schwerkraft abnimmt: z. B. auf hohen Bergen und mit wachsender Annäherung an den Aequator. (Abplattung der Erde an den Polen. — Vergl. S. 33.) —

Die Pendelgesetze wurden um 1600 von Galilei aufgefunden. —

6. Wirkungen der Schwerkraft auf flüssige Körper.

(Mechanik der flüssigen Körper.)

Flüssigkeitsoberfläche. Die Oberfläche einer in einem Gefässe befindlichen Flüssigkeit ist zufolge der Wirkung der Schwerkraft eine wagerechte Ebene. Würde nämlich die Flüssigkeit an einer Stelle der Oberfläche schräg begrenzt sein, so würden hier die höher gelegenen Theilchen wie auf einer schiefen Ebene sich abwärts bewegen (was wegen der geringen Kohäsion auf keinerlei Weise verhindert würde), bis alle Theilchen der Flüssigkeit gleich weit vom Erdmittelpunkte entfernt lägen.

Nach dem Letztgesagten ist — streng genommen — die Oberfläche einer Flüssigkeit keine Ebene, sondern ein Stück einer Kugelfläche; aber für die beschränkten Verhältnisse, wie sie sich in Gefässen darbieten, stimmt für jeden Grad menschlicher Genauigkeit ein solches Stück einer Kugelfläche (welches Kugelkappe oder -Calotte heisst) mit einer Ebene überein.

Libelle — eine Wasserwage, mit Hilfe deren sich eine Fläche, auf die das Instrument gesetzt ist, wagerecht einstellen lässt. Sie ist ein mit Wasser gefülltes Rohr, bzw. eine ebensolche Dose, die eine Luftblase enthält. Befindet diese sich in der Mitte, so steht das Instrument horizontal.

Ausbreitung des Drucks in einer Flüssigkeit. Man durchlöchere einen Gummiball an verschiedenen Stellen seiner Oberfläche mit einer Nadel und fülle

ihn mit Wasser an; dies geschieht auf die Weise, dass man ihn unter Wasser bringt, zusammenpresst, um die in ihm enthaltene Luft zu entfernen, und dann sich wieder ausdehnen lässt, wobei das Wasser durch die Oeffnungen ins Innere eindringt.

Den mit Wasser gefüllten Ball lege man auf einen Tisch und drücke von oben her mit dem Finger darauf. Dann beobachtet man, wie das Wasser aus allen Oeffnungen hervor nach verschiedenen Seiten hinspritzt. Es hat sich also der auf die Flüssigkeit ausgeübte Druck nicht nur in der Druckrichtung (von oben nach unten), sondern (da die Oeffnungen an beliebigen Stellen angebracht waren) allseitig fortgepflanzt.

Wird auf einen festen Körper ein Druck ausgeübt, so pflanzt sich derselbe, je starrer, d. h. je weniger weich oder elastisch der Körper ist, um so vollkommener nur in einer Richtung, nämlich der Druckrichtung, weiter fort.

Es erhebt sich jetzt die Frage, mit welcher Stärke sich der auf eine Flüssigkeit ausgeübte Druck in ihr weiter verbreitet. Hierauf antwortet folgen-

der Versuch: Ein vollständig mit Wasser gefülltes Gefäss (Fig. 27), an welches 4 Röhren *A*, *B*, *C* und *D* von gleichem Querschnitt (z. B. 1 qcm) angesetzt sind, werde durch 4 Kolben, welche sich in diesen Röhren bewegen können, verschlossen. Wird nun auf den Kolben *A* ein Druck von 1 kg ausgeübt, so muss auf jeden der übrigen Kolben (*B*, *C* und *D*) der gleiche Druck von 1 kg ausgeübt werden, wenn verhindert werden soll, dass sich einer derselben nach aussen (und damit der Kolben *A* nach innen) bewegt.

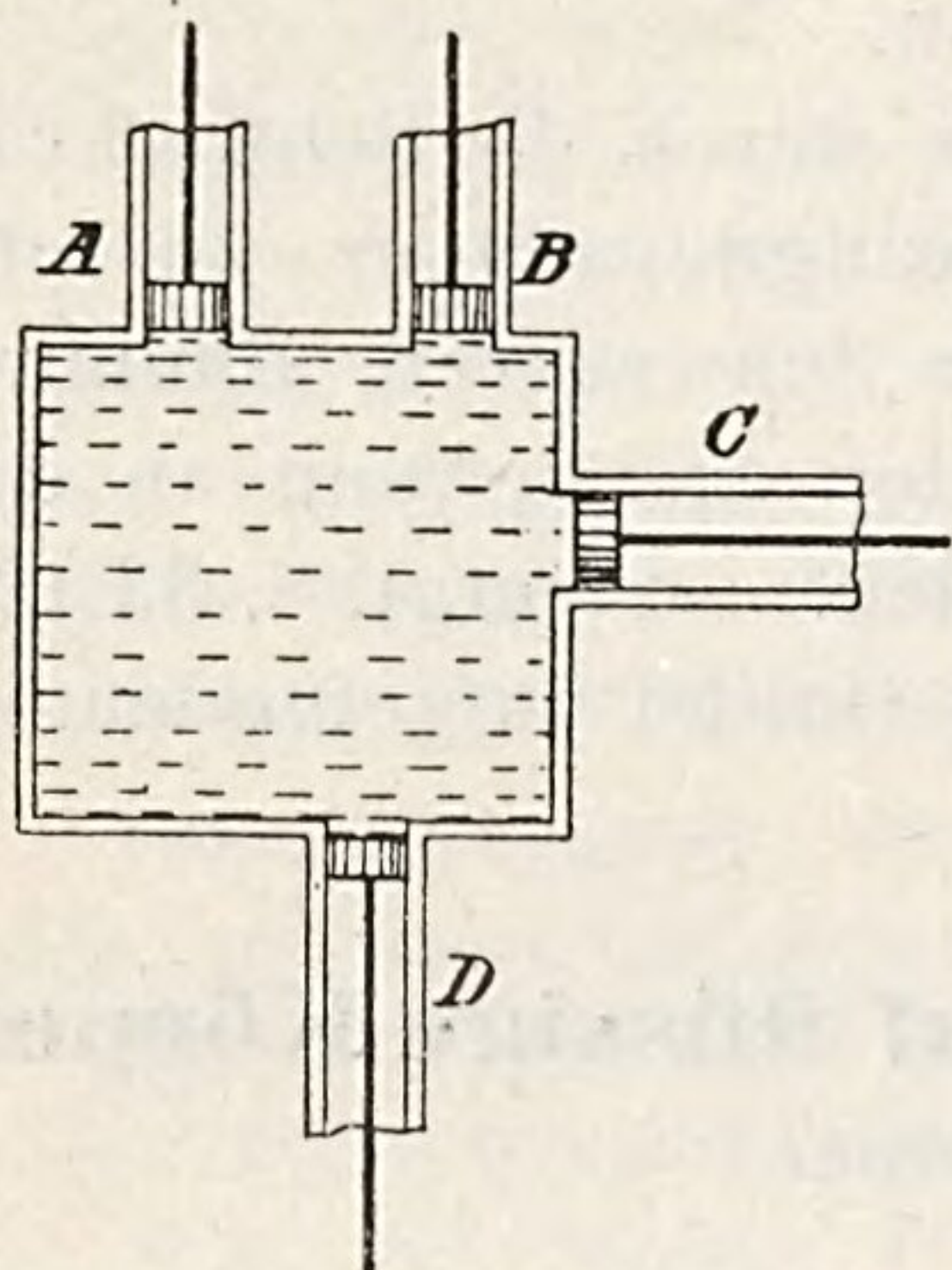


Fig. 27. Verbreitung des Druckes in einer Flüssigkeit.

Aus beiden Versuchen erhellt das Gesetz, dass sich ein auf eine Flüssigkeit ausgeübter Druck in derselben nach allen Richtungen mit gleicher Stärke verbreitet.

Hieraus folgt zugleich der Satz, dass, wenn auf eine Flüssigkeit senkrecht zur Oberfläche ein Druck ausgeübt wird, derjenige Druck, den ein beliebiger Theil der Gefässwand erfährt, der Grösse dieses Wandstücks proportional ist. (Pascal, 1650.)

Diese Beziehung findet eine Anwendung in der hydraulischen oder Brahma'schen Presse (Brahma, 1797.) Dieselbe besteht im Wesentlichen aus zwei mit Wasser gefüllten Cylindern, die durch ein Rohr mit einander verbunden sind und in denen sich je ein Stempel bewegt: der eine mit kleinem, der andere mit grossem Querschnitt. Der erstere wird mittels eines einarmigen Hebels in auf- und niedergehende Bewegung versetzt; jeder Niederdruck überträgt sich durch die Flüssigkeit auf den grossen Stempel, und zwar, wenn dessen Querschnitt z. B. 100 mal so gross als der des kleinen, in 100facher Stärke. Diesem Druck entsprechend wird der grosse Stempel nach oben getrieben. (Anwendung in Oelfabriken, bei der Tuch-Appretur u. s. w.)

Zu beachten ist hierbei, dass der grosse Stempel sich beträchtlich lang-

samer emporbewegt, als der kleine Stempel niedergeht. Das Verhältniss der Wege ist das umgekehrte wie das der Druckkräfte.

Bodendruck in Flüssigkeiten. Aus dem soeben Ausgeführten geht hervor, dass der Druck, den eine in einem Gefässe befindliche Flüssigkeit auf den Boden des Gefässes ausübt, von der Grösse des Bodens abhängig ist.

Weitere Versuche lehren, dass die Form des Gefässes von keinerlei Einfluss auf den Bodendruck ist, wohl aber die Höhe der Wassersäule über dem Boden.

Damit ergibt sich das Gesetz, dass der von einer Flüssigkeit ausgeübte Druck proportional der Bodenfläche (allgemeiner: der Druckfläche) und der Höhe über der gedrückten Fläche — der sogenannten Druckhöhe — ist oder: dass dieser Druck gleich dem Gewichte einer cylindrischen Flüssigkeitssäule ist, deren Grundfläche gleich der Bodenfläche (oder Druckfläche) und deren Höhe gleich der Druckhöhe der Flüssigkeit ist.

In der Real'schen Extractpresse wird auf die Weise ein beträchtlicher Druck auf den auszuziehenden Stoff bei Anwendung einer geringen Menge ausziehender Flüssigkeit zu Stande gebracht, dass an das Gefäss, welches den der Extraction zu unterwerfenden Stoff aufnimmt, ein langes senkrechtes Rohr von geringer Weite angesetzt ist, so dass also die Druckhöhe der in Gefäss und Rohr gefüllten Flüssigkeit eine grosse ist. Der der Extraction zu unterwerfende Stoff befindet sich, fein gepulvert, am Boden des Gefässes zwischen zwei siebartig durchlöcherten Platten; ein nahe dem Boden angebrachter Hahn dient zum Ablassen der Extractflüssigkeit.

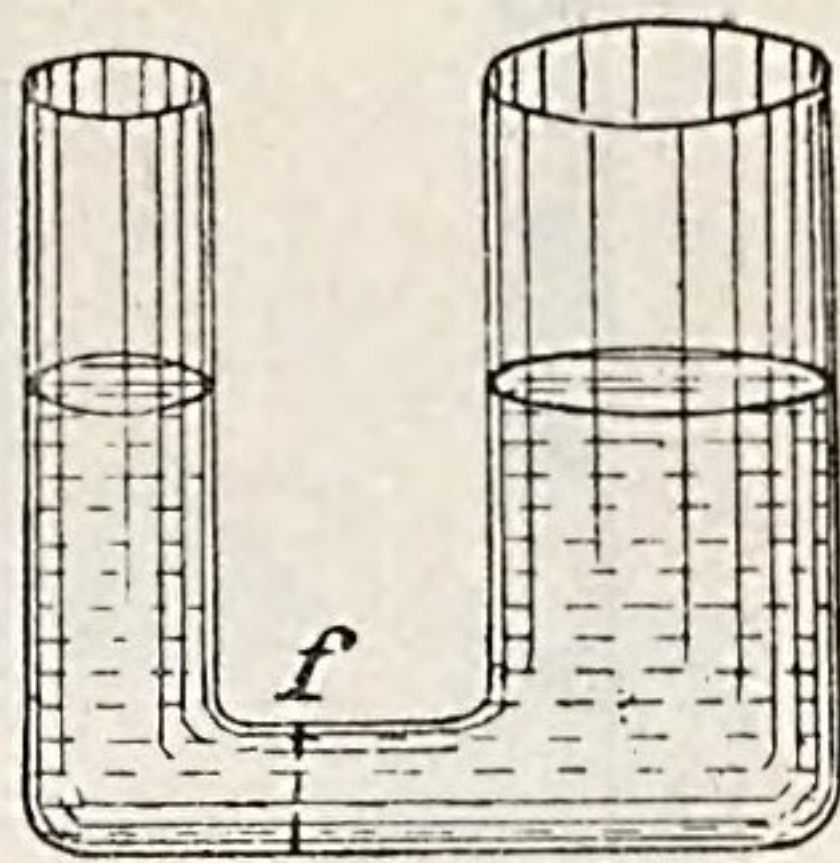


Fig. 28. Kommunizirende Röhren.

Kommunicirende Gefässe. Zwei Gefässe, welche entweder unmittelbar oder durch ein unten befindliches Querrohr mit einander verbunden sind, heissen kommunizirende Gefässe; haben sie selbst Röhrenform, so nennt man sie kommunizirende Röhren. (Fig. 28.)

Giesst man in zwei kommunizirende Gefässe eine Flüssigkeit, so beobachtet man, dass sich dieselbe in beiden gleich hoch stellt. Die Ueberlegung zeigt, dass nur auf diese Weise die Flüssigkeit sich im Gleichgewicht befinden kann; denn da die Druckfläche (entweder die Grenzfläche an der Stelle, wo ein Gefäss in das andere übergeht, oder irgend eine Fläche im Querrohr — Fig. 28, *f*) für die Flüssigkeit in beiden Gefässen dieselbe ist, so muss auch die Druckhöhe der Flüssigkeit in jedem der Gefässe die gleiche sein, da sonst der Druck der Flüssigkeit in beiden Gefässen verschieden wäre und somit kein Gleichgewicht bestehen könnte.

Das Gesetz der kommunizirenden Röhren findet vielfache praktische Anwendung; z. B. bei der Kanal- und Nivellirwage der Feldmesser; bei allen mit Aus-

guss versehenen Gefässen, insbesondere der Giesskanne; bei der Wasserleitung, den natürlichen Springbrunnen, den artesischen Brunnen u. s. w.

Ausflussgeschwindigkeit. Von dem Druck einer in einem Gefässe befindlichen Flüssigkeit hängt die Ausflussgeschwindigkeit ab, mit welcher sie aus einer in dem Boden oder der Wand des Gefässes vorhandenen Oeffnung hervorströmt.

Auf die Grösse der Oeffnung (etwa entsprechend der Druckfläche) kommt es hierbei aber nicht an; denn wenn die Oeffnung und damit der Druck grösser

ist, nimmt im gleichen Maasse auch die zu bewegendende Flüssigkeitsmenge zu (vgl. S. 32); daher ist die Ausflussgeschwindigkeit ausschliesslich von der Druckhöhe abhängig; nach Torricelli (1641) ist sie gleich der Endgeschwindigkeit, die ein Körper erlangen würde, der von einer der Druckhöhe

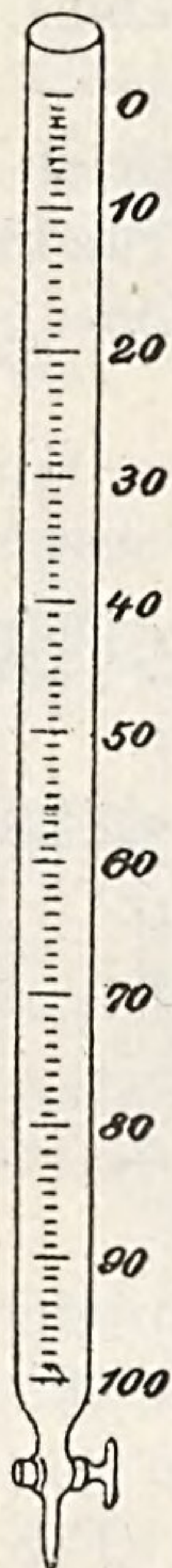


Fig. 29. Glashahn-Bürette.

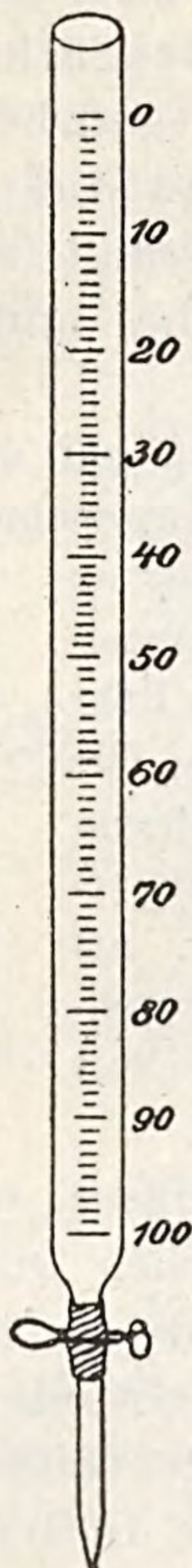


Fig. 30a. Quetschhahn-Bürette.

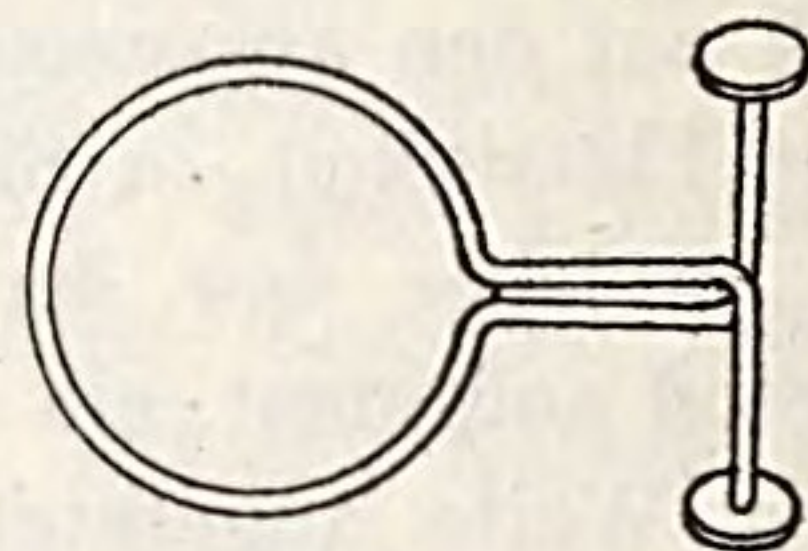


Fig. 30b. Quetschhahn.

gleich grossen Höhe über dem Erdboden frei auf diesen herabfiele.

Von der Richtung des ausfliessenden Flüssigkeitsstrahls ist die Ausflussgeschwindigkeit gleichfalls unabhängig; dies ist eine Folge der nach allen Richtungen gleichmässigen Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten.

Glashahn und Quetschhahn.

Um das Ausfliessen einer Flüssigkeit aus einem Gefässe zu regeln, vor allem um es zu ermöglichen, dass die Flüssigkeit in kleiner

Menge und mit Unterbrechungen ausfliesst, bedient man sich eines über der Ausflussöffnung anzubringenden Glashahns oder Quetschhahns, wie sie die in Fig. 29 und 30 dargestellten, bei der chemischen Maassanalyse Verwendung findenden Büretten zeigen. Büretten sind mit Volum-Eintheilung versehene Glasröhren, die am unteren Ende verschliessbar sind.

Der Glashahn (siehe Fig. 29) ist ein mit Griff versehenes Glasstück, das eine Durchbohrung besitzt, welche das Glasstück parallel dem Griff durchsetzt.

Dieses Glasstück ist in eine im unteren Theile der Bürette — einem Ansatzrohr — befindliche Durchbohrung luftdicht eingeschliffen. Wird nun der Glashahn so gedreht, dass sein Griff senkrecht steht, also der Längsachse der Bürette parallel ist, so fließt die in der Bürette enthaltene Flüssigkeit durch die Durchbohrung des Hahns nach unten ab; steht der Griff wagerecht, so fällt die Durchbohrung des Hahns nicht in den Lauf des Ansatzrohrs, und die Flüssigkeit kann nicht heraus; wird der Hahn allmählich aufgedreht, so kann man die Flüssigkeit tropfenweise austreten lassen.

Der Quetschhahn, den Fig. 30b für sich darstellt, ist ein gebogener Draht, dessen Enden zunächst ein Stückchen neben einander hergehen, dann, sich kreuzend, nach aussen gehen und in zwei Plättchen enden, die beim Gebrauch zwischen die Finger genommen werden. Soll der Quetschhahn zur Verwendung gelangen, so muss auf das Ansatzrohr der Bürette ein Stückchen Kautschukschlauch aufgeschoben werden, welches am unteren Ende abermals ein kleines Glasrohr trägt. Der Kautschukschlauch wird zwischen die parallelen Stücke des Quetschhahns gebracht, welche ihn — da der Hahn elastisch federnd ist — zu sammenpressen; die Flüssigkeit kann jetzt nicht heraus. Drückt man nun die Plättchen des Quetschhahns mit den Fingern zusammen, so entfernen sich die parallelen Stücke des Hahns von einander, der elastische Kautschukschlauch bläht sich ein wenig auf, und es tritt Flüssigkeit nach unten hindurch.

Seitendruck der Flüssigkeiten.

Wird ein nahe seinem unteren Ende mit einer seitlichen Oeffnung versehenes Glasrohr am oberen Ende frei beweglich aufgehängt und mit Wasser gefüllt, so weicht, wenn das Wasser aus der Seitenöffnung ausfließt, das untere Ende des Rohres nach der der Oeffnung entgegengesetzten Seite zurück.

Der Grund hierfür ist der, dass das im Glasrohr enthaltene Wasser auf die der Seitenöffnung gegenüberliegende Stelle der Wandung einen nach aussen gerichteten Druck ausübt, während an der Seitenöffnung selbst kein derartiger Druck stattfindet.

Auf den gleichen einseitigen Seitendruck ist die Thätigkeit des Segner'schen Wasserrades (Fig. 31) zurückzuführen. Das senkrechte, um eine Achse drehbare, unten geschlossene Rohr ist mit Wasser gefüllt; aus den seitwärts umgebogenen, offenen Enden des Querrohrs fließt das Wasser heraus und bewirkt eine Drehung des Röhrensystems in einem der Richtung der ausfließenden Wasserstrahlen entgegengesetzten Sinne.

Eine praktische Anwendung des Segner'schen Wasserrades bilden die Turbinen. Man kann sie als Wasserräder mit senkrechter Achse bezeichnen, während die gewöhnlichen — ober- oder unterschlächtigen — Wasserräder, wie man sie an Wassermühlen findet, eine wagerechte Achse besitzen.

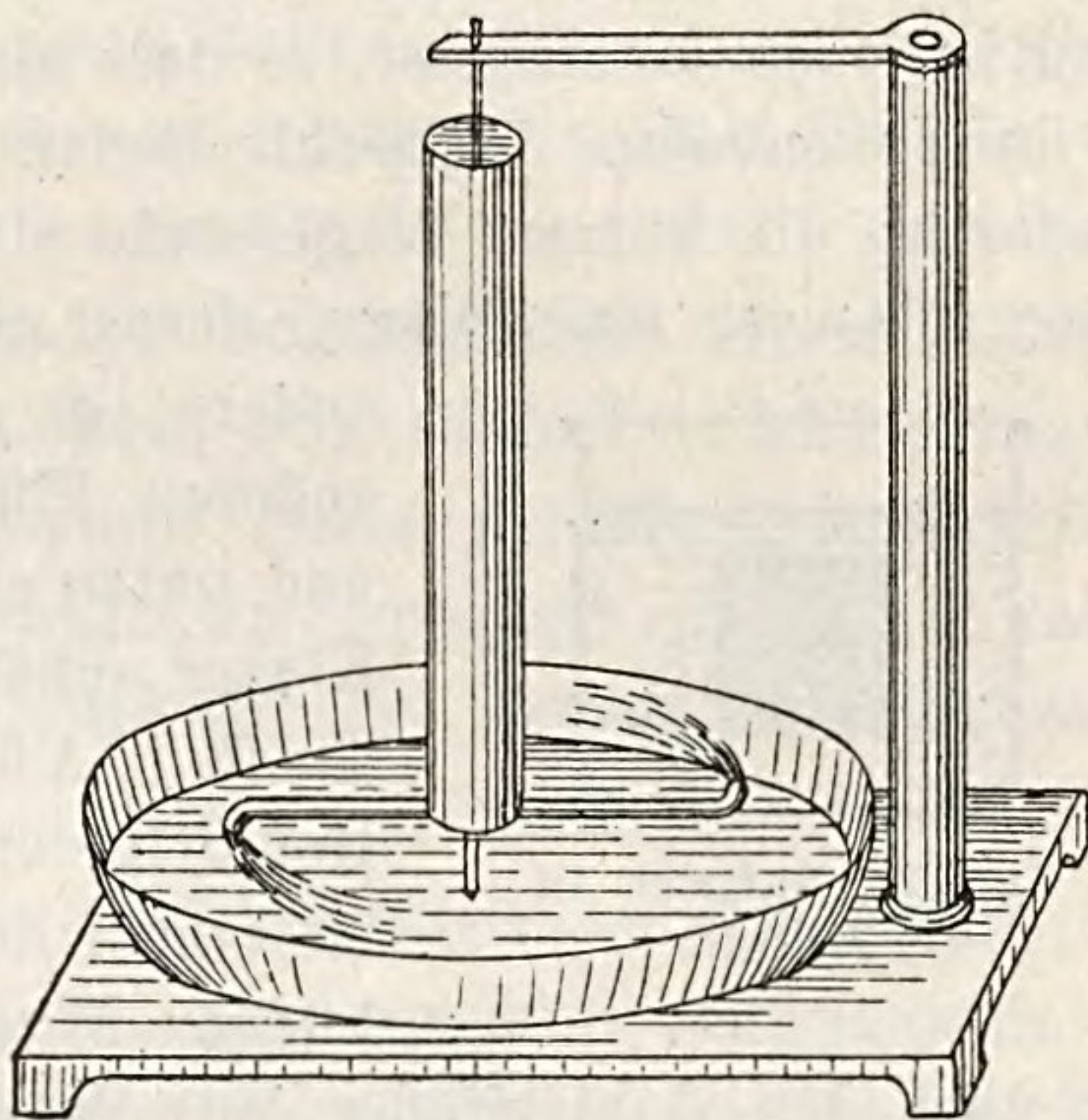


Fig. 31. Segner'sches Wasserrad.

Auftrieb in Flüssigkeiten. Wird ein an einem Arme eines Wagebalkens aufgehängter Körper, dem durch Gewichte, welche auf den andern Arm des Wagebalkens wirken, das Gleichgewicht gehalten wird, in Wasser (oder eine andere Flüssigkeit) getaucht, so erfährt das Gleichgewicht eine Störung: der den Körper tragende Arm des Wagebalkens geht in die Höhe.

Der Körper erleidet einen scheinbaren Gewichtsverlust. In Wahrheit übt das Wasser einen nach oben gerichteten Druck auf ihn aus, den man als Auftrieb bezeichnet.

Dieser Auftrieb ist um so grösser, je grösser das Volum des Körpers ist, je mehr Wasser er also beim Eintauchen verdrängt.

Die Grösse des Auftriebs lässt sich auf folgende Weise ermitteln. Man stellt aus Metall einen Hohlzylinder und einen Vollzylinder her, welcher letzterer genau in jenen hineinpasst, so dass also das gesammte Volum des Vollzylinders und das Innenvolum des Hohlzylinders gleich sind. Dann hängt man den Vollzylinder an die kürzere Wageschale einer hydrostatischen oder Mohr'schen Wage; das ist eine Wage, deren eine Schale höher aufgehängt ist als die

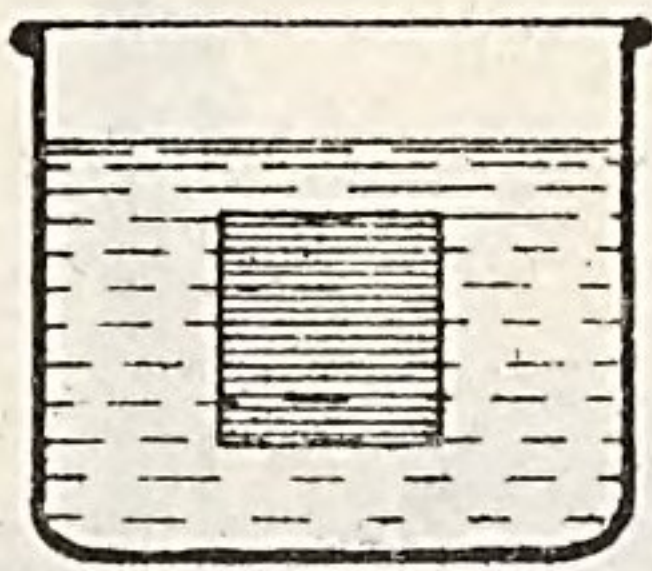


Fig. 32. Auftrieb in Flüssigkeiten.

andere (so dass ein Gefäss mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit darunter gestellt werden kann) und unten einen Haken besitzt, an welchen man einen Körper anhängen kann. (Vergl. S. 158 des Praktischen Theils.) Auf die kürzere Wageschale setzt man den Hohlzylinder und stellt Gleichgewicht her. Alsdann lässt man den Vollzylinder in Wasser eintauchen; die kürzere Wageschale geht in die Höhe. Wenn man

jetzt aber den Hohlzylinder voll Wasser füllt, so stellt sich das Gleichgewicht wieder her.

Hieraus geht hervor, dass der Auftrieb (oder scheinbare Gewichtsverlust) eines in eine Flüssigkeit eingetauchten Körpers gleich ist dem Gewicht eines gleich grossen Volums der Flüssigkeit. (Archimedisches Gesetz oder Princip, aufgestellt 220 v. Chr. von dem Griechen Archimedes.)

Die Erscheinung des Auftriebs findet in folgender Betrachtung ihre Erklärung. — Denken wir uns in einem Gefäss mit einer beliebigen Flüssigkeit eine bestimmte Raummengende der letzteren besonders abgegrenzt (wie Fig. 32 zeigt), so bleibt diese Flüssigkeitsmenge deshalb in völligem Gleichgewicht an ihrer Stelle, weil sie durch die umliegende Flüssigkeit getragen wird. Ersetzt man nun die fragliche Flüssigkeitsmenge durch einen andern Körper von gleichem Volum und gleichem Gewicht, so muss derselbe ebenso getragen werden wie vorher die Flüssigkeitsmenge und unverändert an seiner Stelle bleiben; ist er aber — bei gleichem Volum — schwerer als die verdrängte Flüssigkeitsmenge, so muss wenigstens ein Theil seines Gewichtes von der umliegenden Flüssigkeit getragen werden, nämlich soviel, wie die verdrängte Flüssigkeit wog, da die umliegende Flüssigkeit stets dem gleichen auf ihm lastenden Druck das

Gleichgewicht zu halten vermag. Dieser auf Kosten der umliegenden Flüssigkeit kommende Theil des Gewichtes ist nun der scheinbare Gewichtsverlust oder Auftrieb, den der Körper in der Flüssigkeit erfährt.

Untersinken, Schweben und Schwimmen. Aus dem eben Ausgeführten ergiebt sich, dass ein Körper, der frei in eine Flüssigkeit gebracht wird, ein dreifaches Verhalten darbieten kann.

Ist er genau so schwer wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge, so bleibt er an jeder Stelle, an die man ihn bringt, in vollem Gleichgewicht: er schwebt; ist er schwerer als die verdrängte Flüssigkeitsmenge, so fällt er, da er nicht völlig von der umliegenden Flüssigkeit getragen wird, der eigenen Schwere zufolge auf den Boden des Gefässes: er sinkt unter; ist er leichter als die verdrängte Flüssigkeitsmenge, so steigt er an die Oberfläche empor und taucht nur soweit ein, dass sein Gesamtgewicht gleich dem Gewicht der von seinem unteren, eintauchenden Theile verdrängten Flüssigkeitsmenge ist: er schwimmt.

Das Untersinken, Schweben oder Schwimmen eines Körpers hängt, um es bestimmter auszusprechen, von dem Verhältniss des Gewichtes des Körpers zu dem Gewicht eines gleich grossen Flüssigkeitsvolums ab. Ist dieses Verhältniss grösser als 1, so sinkt der Körper unter; ist es $= 1$, so schwebt er; ist es kleiner als 1, so schwimmt er.

Specifisches Gewicht. Da die auf der Erde verbreitetste, am meisten gebrauchte und am leichtesten zugängliche Flüssigkeit das Wasser ist, so hat man dem erwähnten Verhältniss in Bezug auf das Wasser einen besonderen Namen gegeben:

Man nennt das Verhältniss des absoluten Gewichtes eines Körpers zu dem Gewicht eines gleich grossen Volums Wasser das specifische Gewicht des Körpers. — Dieses specifische Gewicht ist also eine blosse, d. h. unbenannte Zahl.

Unter „absolutem Gewicht“ des Körpers versteht man sein Gewicht in Luft oder, strenger genommen, im leeren Raum.

Denkt man sich den Körper von der Grösse der Volumeinheit $= 1$ ccm, so lässt sich — da das Gewicht von 1 ccm Wasser gleich der Gewichtseinheit (1 g) ist — das specifische Gewicht des Körpers auch als das Gewicht der Volumeinheit erklären (da dann der Nenner in dem Verhältniss wegfällt).

Das specifische Gewicht des Wassers im destillirten und damit reinen Zustande bei $+4^{\circ}\text{C}$. (mit der Temperatur ändert sich das specifische Gewicht) ist $= 1$.

Statt des Ausdrucks „specifisches Gewicht“ wendet man auch die Bezeichnung „Dichtigkeit“ an, indem man sich vorstellt, dass diejenigen Körper ein

grösseres specifisches Gewicht haben, welche in dem gleichen Volum mehr und daher dichter bei einander befindliche Masse-Atome enthalten.

Es möge hier die Bemerkung vorweggenommen werden, dass man auch von einem specifischen Gewicht der Gase spricht. Dasselbe wird aber nicht auf Wasser, sondern auf Luft oder — am häufigsten — auf Wasserstoff als das specifisch leichteste aller Gase bezogen. Wählt man als Vergleichsvolum die Volumeinheit, so giebt wiederum das specifische Gewicht der Gase das Gewicht ihrer Volumeinheit an; man nennt daher das specifische Gewicht der Gase auch ihr Volumgewicht. Das Volumgewicht der meisten chemischen Grundstoffe im gasförmigen Zustande ist gleich ihrem Atomgewicht; das Volumgewicht der chemischen Verbindungen im gasförmigen Zustande ist gleich dem halben Molekulargewicht.

Das specifische Gewicht ist eine sehr wichtige Eigenschaft der Körper, an der man sie neben sonstigen Eigenschaften wie Farbe, Glanz u. s. w. erkennen oder auf Grund welcher man wenigstens ihre Reinheit bzw. ihren Gehalt an anderen Stoffen feststellen kann. Treten nämlich zu einem Stoffe andere von verschiedenem specifischen Gewicht hinzu, so wird das specifische Gewicht des ersteren geändert. Salze und Säuren steigern so das specifische Gewicht des Wassers und zwar um so mehr, in je grösserer Menge sie darin gelöst enthalten sind, während z. B. Alkohol das specifische Gewicht bei zunehmendem Gehalte herabsetzt. Es lässt sich jedoch nicht in allen Fällen aus dem specifischen Gewicht eines Stoffes ohne Weiteres ein bestimmter Schluss auf seinen Gehalt an anderen Stoffen ziehen, da beispielsweise beim Mischen zweier Flüssigkeiten häufig Verdichtungen stattfinden (Mischungen von Wasser mit Weingeist, sowie von Wasser mit Schwefelsäure). In solchen Fällen geben Tabellen, die auf Grund von Versuchen aufgestellt wurden, Auskunft darüber, welcher Procentgehalt einem bestimmten specifischen Gewicht entspricht.

Bestimmung des specifischen Gewichts fester Körper.

a) Mittels der hydrostatischen Wage. Man bestimmt zunächst das absolute Gewicht des Körpers. — Derselbe sei ein Stück Eisen von 40 g Gewicht. — Dann lässt man ihn in Wasser eintauchen (destillirtes Wasser von 15°C.^1); hierdurch wird das

¹⁾ Die Temperatur muss — wenigstens wenn man genaue Ergebnisse erzielen will — berücksichtigt werden, da das specifische Gewicht der Körper sich mit der Temperatur ändert, wie auf S. 59 bereits erwähnt wurde; man wählt aber häufig nicht die daselbst angegebene Temperatur von $+4^{\circ}\text{C.}$ (bei welcher das Wasser seine grösste Dichtigkeit hat) zur Bestimmung des specifischen Gewichts, sondern — aus Bequemlichkeits-Rücksichten — die mittlere Zimmertemperatur. Die bei dieser Temperatur bestimmten specifischen Gewichte wären

Gleichgewicht aufgehoben; man stellt es wieder her, indem man die in die Höhe gegangene Wagschale (diejenige, welche das Stück Eisen trägt) mit Gewichten beschwert; diese geben den scheinbaren Gewichtsverlust an, den das Eisen im Wasser erlitten hat. Er betrage in unserm Beispiel 5,26 g. Dann ist das specifische Gewicht des Eisens $= 40 : 5,26 = 7,6$.

b) Mittels der Nicholson'schen Senkwage (oder des Gewichtsaräometers). Die Nicholson'sche Senkwage (Fig. 33) besteht aus einem cylindrischen Hohlkörper aus Blech, der oben und unten je eine, zur Aufnahme des zu untersuchenden Körpers und der Gewichte dienende Schale trägt. Die untere (*u*) ist in dem Maasse beschwert, dass der Apparat, ins Wasser gebracht, in senkrechter Lage in stabilem Gleichgewicht schwimmt; zwischen der oberen Schale (*o*) und dem Hohlkörper befindet sich ein Hals (ein Draht oder Eisenstab), an welchem eine Marke angebracht ist.

Nachdem die Senkwage in einen mit Wasser gefüllten Glascylinder gebracht worden ist, wird der zu untersuchende Körper zuerst auf die obere Schale gelegt und soviel Gewichte dazu, dass die Senkwage bis zur Marke ins Wasser einsinkt. Hierauf wird der Körper von der Schale entfernt, und statt seiner wird dieselbe mit Gewichten beschwert, bis die Wage wiederum bis zur Marke einsinkt. Diese Gewichte geben das absolute Gewicht des Körpers an. Dann wird, nachdem die zuletzt genannten Gewichte entfernt worden sind, der Körper auf die untere Schale gelegt, so dass er sich also unter Wasser befindet; die Senkwage steigt. Durch Auflegen von Gewichten auf die obere Schale bringt man sie wieder so weit zum Sinken, dass die Marke mit dem Wasserspiegel abschneidet; diese Gewichte geben den scheinbaren Gewichtsverlust des Körpers oder das Gewicht der von ihm verdrängten Wassermenge an. Die Division des absoluten Gewichts durch die letztere Grösse liefert das specifische Gewicht des Körpers. —

Soll das specifische Gewicht eines Körpers bestimmt werden, der specifisch leichter ist als Wasser und also nicht in letzteres einsinkt, so befestigt man ihn an einem Körper von hohem specifischem Gewicht, z. B. Blei, und stellt dessen

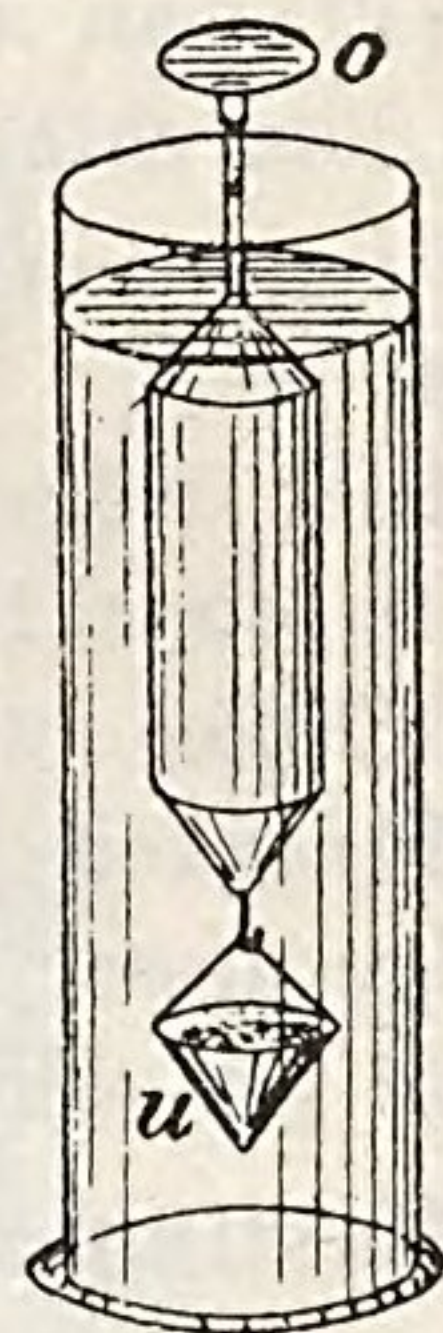


Fig. 33. Nicholson'sche Senkwage.

nur dann vollkommen genau, wenn — was nicht der Fall ist — die specifischen Gewichte aller Körper sich mit der Temperatur gleichmässig, ihr proportional ändern würden.

absolutes Gewicht und scheinbaren Gewichtsverlust im Wasser durch einen besonderen Versuch vor der eigentlichen Bestimmung fest.

In Wasser lösliche Körper untersucht man hinsichtlich ihres specifischen Gewichts in einer anderen Flüssigkeit (z. B. Oel), deren specifisches Gewicht in Bezug auf Wasser man kennt.

Besondere Schwierigkeit macht die Bestimmung des specifischen Gewichts poröser Körper. Diese nehmen wegen der in ihnen enthaltenen luftgefüllten Zwischenräume ein grösseres Volum ein, als ihrer festen Masse allein zukommt. Will man das specifische Gewicht der festen Masse ausschliesslich der in den Poren befindlichen Luft ermitteln, so muss man aus den Körpern die Luft durch Auskochen entfernen, oder sie in fein gepulvertem Zustande verwenden; im letzteren Falle bedient man sich zur Bestimmung des specifischen Gewichts am besten des Volumenometers (oder Volumeters oder Stereometers), das erst im nächsten Abschnitt („Wirkungen der Schwerkraft auf luftförmige Körper“) zur Besprechung gelangen kann.

Will man das specifische Gewicht eines porösen Körpers einschliesslich der in ihm enthaltenen Luft bestimmen, so überzieht man ihn mit einer dünnen Schicht eines vom Wasser nicht auflösbaren Stoffes (z. B. eines geeigneten Lackes). —

Hier möge die Bemerkung Platz finden, dass ein hohler Körper auch dann in einer Flüssigkeit schwimmen kann, wenn das specifische Gewicht der festen Stoffe, aus denen er zusammengesetzt ist, beträchtlich grösser ist als das der Flüssigkeit; erforderlich ist nur, dass der Körper so umfangreich ist und in Folge dessen so viel Luft enthält, dass er mit dieser Luft weniger wiegt als die von ihm verdrängte Flüssigkeit. (Beispiel: die schweren Panzerschiffe.)

Bestimmung des specifischen Gewichts von Flüssigkeiten.

a) Mittels der hydrostatischen Wage. An einem Arm des Wagebalkens (Fig. 34, *a*) wird ein oben und unten geschlossenes, zum Theil mit Quecksilber gefülltes Glasröhrchen, das sogenannte Senkgläschen (Fig. 34, *S*) befestigt, welchem durch die Wageschale *C* genau das Gleichgewicht gehalten wird. Wenn man dieses in ein Gefäss (*G*) eintaucht, das nach einander mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt wird, so werden verschiedene, an den Wagebalken *a* zu hängende Gewichte von Nöthen sein, um die Wage ins Gleichgewicht zu bringen, weil der Auftrieb, den ein Körper in einer Flüssigkeit erleidet, um so grösser ist, je grösser das specifische Gewicht der Flüssigkeit ist, wie es aus der Erklärung der Erscheinung des Auftriebs (S. 58) unmittelbar hervorgeht. Als Gewichte für die Wage benutzte Mohr mehrere Häkchen (Reiter) von der in Fig. 34, *R* dargestellten Form und von dreifach verschiedener Grösse. Die grössten Häkchen wiegen genau soviel, wie der Gewichtsverlust des Senkgläschens im Wasser beträgt; eine zweite Sorte wiegt $\frac{1}{10}$ soviel, eine dritte $\frac{1}{100}$ soviel. — Will man das specifische Gewicht einer Flüssigkeit, z. B. Alkohol, ermitteln, so lässt man das Senk-

gläschen in dieselbe eintauchen und vertheilt an dem in 10 gleiche Theile eingetheilten Arm *a* des Wagebalkens die Gewichtshaken so, dass Gleichgewicht eintritt. Es findet sich, dass man (in unserm Beispiel) den grössten Haken beim Theilstrich 7, den mittelgrossen bei 9 und den kleinsten bei 5 aufhängen muss; hiernach ist der Gewichtsverlust, den das Senkgläschen im Alkohol erleidet, $= 0,7 + 0,09 + 0,005 = 0,795$ von dem Gewichtsverlust im Wasser; oder mit andern Worten: ein Volum Alkohol $= A$ wiegt 0,795 mal soviel wie ein gleich grosses Volum Wasser; das heisst aber: das specifische Gewicht des Alkohols ist $= 0,795$. — Das Senkgläschen kann zugleich ein Thermometer sein — behufs gleich vorzunehmender Reduktion von Temperaturdifferenzen.

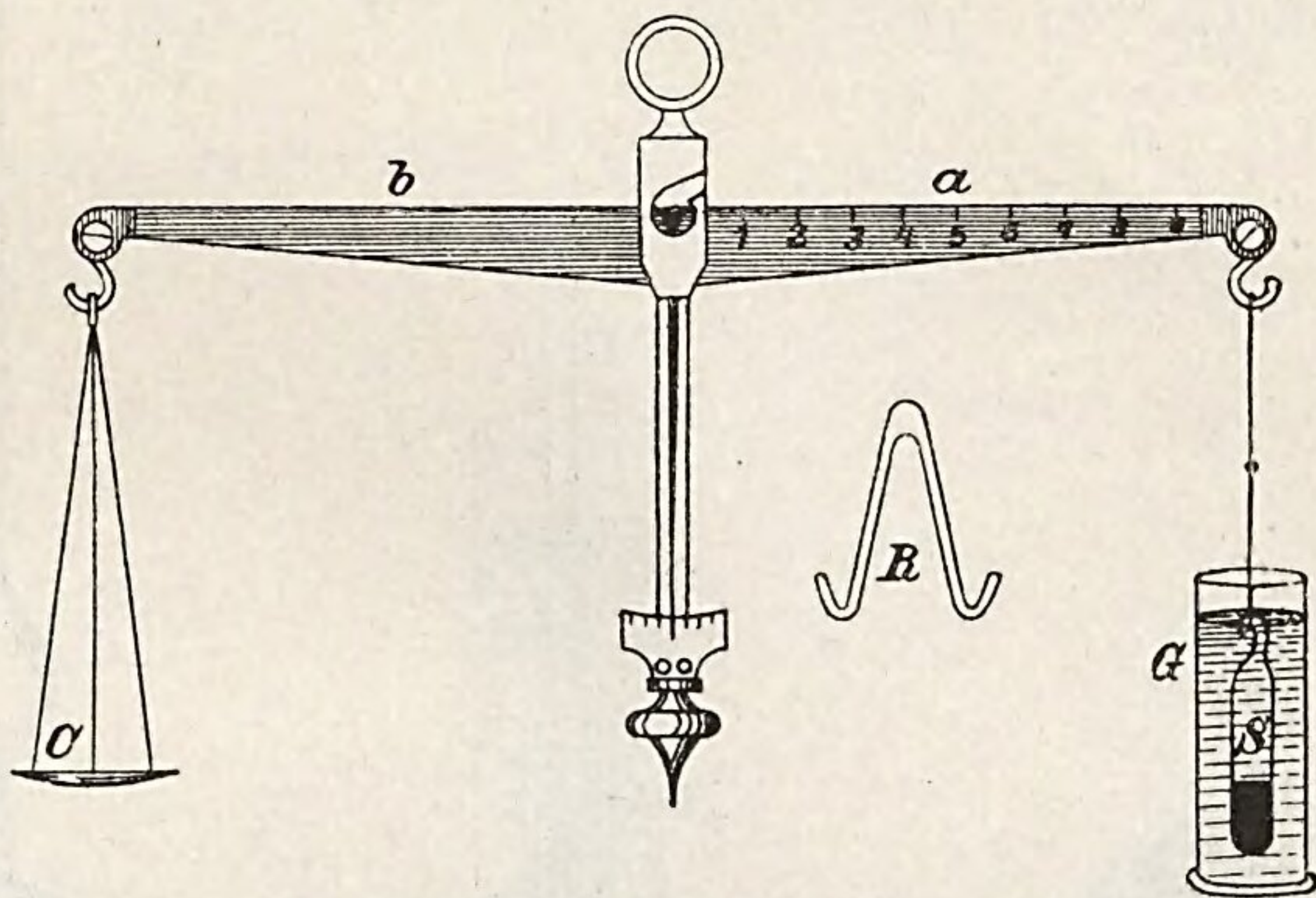


Fig. 34. Mohr'sche Wage.

Die Westphal'sche Wage, welche im Princip der Mohr'schen gleich gebaut ist, unterscheidet sich von dieser insofern, als sie der (von dem Arm *b* des Wagebalkens getragenen) Schale entbehrt und das Gleichgewicht statt durch die Zunge dadurch angezeigt wird, dass sich der Arm *b* des Wagebalkens gegen eine ihm gegenüber befindliche feste Spitze einstellt.

b) Mittels des Pyknometers. Das Pyknometer (Fig. 35) ist ein durch einen durchbohrten Glasstöpsel verschliessbares Fläschchen, welches bei 15°C genau 10 bzw. 100 g destillirtes Wasser fasst. (Die Durchbohrung im Stöpsel soll bei etwaiger Erwärmung den Austritt der sich ausdehnenden Flüssigkeit ermöglichen und so ein Emporheben des Stöpsels oder gar ein Zersprengen des Gefässes verhindern.)

Die zu untersuchende Flüssigkeit wird in das Pyknometer eingefüllt und mit demselben gewogen; zieht man von dem so ermittelten Gewicht die Tara (das Gewicht des Glases) ab, so erhält man das absolute Gewicht der Flüssigkeit. Durch Division dieses

Gewichts durch 10 bzw. 100 (g) ergibt sich das specifische Gewicht der Flüssigkeit.

c) Mittels des Aräometers (Volum- oder Skalen-Aräometers). Das Skalen-Aräometer (Fig. 36a) besteht aus einem Hohlcylinder aus Glas (*A*), der als Schwimmer bezeichnet wird und an welchen unten zur Herstellung einer stabilen Lage des Apparats eine mit Quecksilber gefüllte Kugel (*B*) angeschmolzen ist, die zugleich Thermometerkugel sein kann. Oben läuft der Schwimmer in eine längere, oben geschlossene Glasröhre aus: die Spindel (*C*), welche im Innern einen mit einer Skala versehenen Papierstreifen



Fig. 35. Pyknometer.

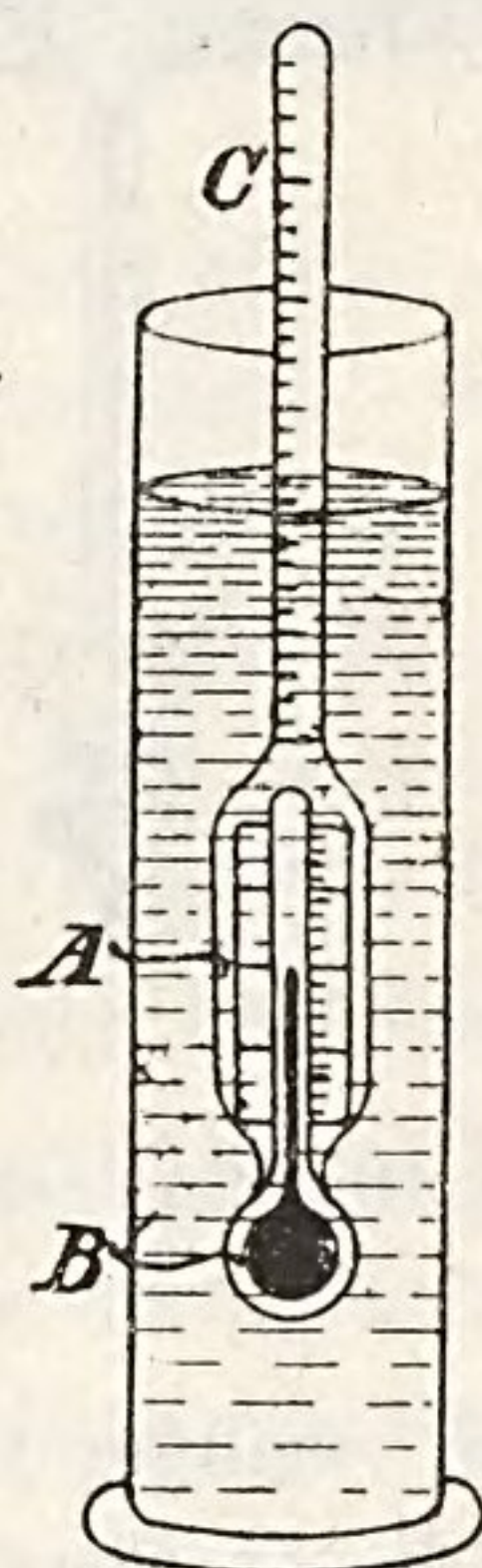


Fig. 36a. Skalen-Aräometer.

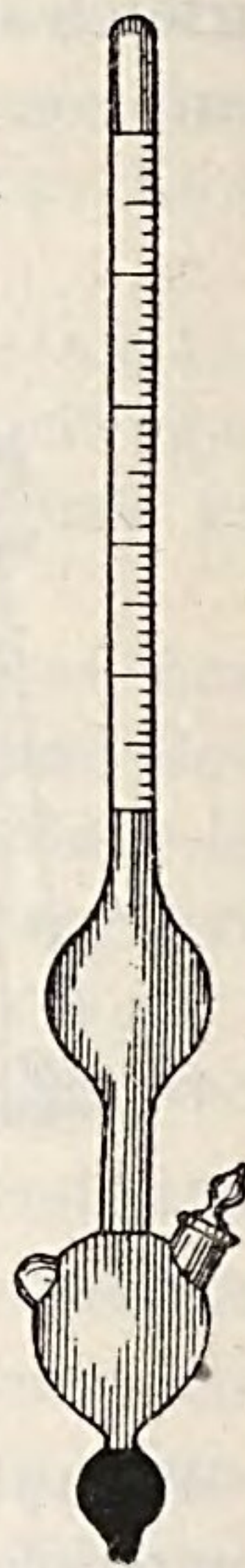


Fig. 36b. Pykno-Aräometer.

enthält. Diese Skala giebt durch Zahlen unmittelbar an, wie gross das specifische Gewicht einer Flüssigkeit ist, in welche das Aräometer bis zu einem bestimmten Theilstrich einsinkt. Diese Einrichtung beruht auf dem Umstande, dass ein Körper in dem Maasse tiefer in eine Flüssigkeit einsinkt, als ihr specifisches Gewicht geringer ist.

Die Eintheilung lässt sich entweder ohne jede Berechnung durch eine Reihe von Versuchen mit solchen Flüssigkeiten gewinnen, deren specifische Gewichte anderweitig bestimmt worden sind; oder auf folgende Weise: Das Aräometer wiege a g, dann sinkt es in Wasser so tief ein, dass das verdrängte Wasser a g wiegt oder a cem Volum hat; man schreibe an den Punkt, bis zu dem das Aräometer einsinkt, die Zahl 1, da das specifische Gewicht des Wassers $= 1$ ist. Jetzt bringe man das Aräometer in eine zweite Flüssigkeit und kennzeichne den Punkt, bis zu welchem es einsinkt; man bestimme hierauf das Volum

des Aräometers bis zu diesem Punkte $= b$ ccm. (Dies geschieht z. B. auf die Weise, dass man das Aräometer bis zu diesem Punkte in einen mit Volum-eintheilung versehenen und bis zu einer bestimmten Marke mit Wasser gefüllten Glascylinder eintaucht und beobachtet, um wieviel das Wasser steigt. Oder auf die Weise, dass man die Gewichtszunahme eines mit Wasser gefüllten Gefässes feststellt, in welches das Aräometer bis zu dem genannten Punkte eingetaucht wird; diese Gewichtszunahme ist $=$ dem Gewichtsverlust des eingetauchten Aräometers $=$ dem Gewicht des verdrängten Wassers; ist dies Gewicht $= b$ g, so ist das Volum des verdrängten Wassers $= b$ ccm.) Hat die zweite Flüssigkeit nun das specifische Gewicht x , so wiegen die b ccm $= bx$ g. Dies ist aber $= a$ g, da ja diese Menge Flüssigkeit durch das a g schwere Aräometer ersetzt ist. Also $bx = a$ oder $x = \frac{a}{b}$. Man schreibe an den gekennzeichneten Punkt

die Zahl $\frac{a}{b}$. Ermittelt man auf dieselbe Weise die specifischen Gewichte

einer dritten und vierten Flüssigkeit: $y = \frac{a}{c}$ und $z = \frac{a}{d}$ und nehmen die specifischen Gewichte 1, x , y und z stets um dieselbe Grösse $\frac{1}{n}$ zu (also $x = 1 + \frac{1}{n}$, $y = 1 + \frac{2}{n}$, $z = 1 + \frac{3}{n}$), so ist: $a - b = a - \frac{a}{x} = a - \frac{a}{1 + \frac{1}{n}}$

$$= \frac{a}{n + 1} = a \frac{n}{n(n + 1)}; \quad b - c = \frac{a}{x} - \frac{a}{y} = \frac{a}{1 + \frac{1}{n}} - \frac{a}{1 + \frac{2}{n}} = a \frac{n}{(n + 1)(n + 2)};$$

$$c - d \text{ desgl.} = a \frac{n}{(n + 2)(n + 3)}.$$

Es nehmen hiermit die Volumunterschiede, welche gleichen Unterschieden der specifischen Gewichte entsprechen, nach einem bestimmten Gesetze ab. Hat nun die Aräometerspindel überall gleiche Weite, so nehmen die Entfernungen der die specifischen Gewichte $1, 1 + \frac{1}{n}, 1 + \frac{2}{n}, 1 + \frac{3}{n}$ bezeichnenden Theilstriche der Skala nach demselben Gesetze ab; da man nun die Entfernung von 1 bis $\frac{a}{b}$, dem Volumunterschied $a - b$ entsprechend, kennt, so lassen sich die Entfernungen der übrigen Theilstriche der Skala mit Hilfe des entwickelten Gesetzes ermitteln.

Die an die Theilstriche zu schreibenden Zahlen $1, 1 + \frac{1}{n}, 1 + \frac{2}{n}, 1 + \frac{3}{n}$ u. s. w. geben dann an, wie gross das specifische Gewicht einer Flüssigkeit ist, in welche das Aräometer bis zu dem durch die Zahl gekennzeichneten Theilstrich der Skala einsinkt. —

Man hat gewöhnlich für solche Flüssigkeiten, die specifisch leichter, und für solche, die specifisch schwerer sind als Wasser, besondere Aräometer. Bei jenen befindet sich der Theilpunkt 1 unten, bei diesen oben an der Skala.

Das Pykno-Aräometer (Fig. 36b) unterscheidet sich von einem gewöhnlichen Aräometer dadurch, dass es noch einen zweiten, zu einer Kugel ausgeblasenen Hohlraum besitzt, der sich unmittelbar über der Quecksilberkugel befindet und mit einem mit Stöpsel verschliessbaren Ansatzrohr versehen ist. Dem letzteren gegenüber ist ein Glasknopf angeschmolzen, welcher an Gewicht dem Ansatzrohr sammt Stöpsel gleichkommt und den Zweck hat, den Apparat beim Einsenken in Wasser senkrecht schwimmend zu erhalten. Wird nun der Hohlraum ganz mit destillirtem Wasser gefüllt und mit dem Stöpsel verschlossen und der Apparat in destillirtes Wasser gebracht, so sinkt er bis zu der (oben oder unten an der Skala befindlichen) Marke 1 unter. Je nach der Füllung des Hohlraums mit anderen Flüssigkeiten wird der Apparat steigen oder sinken, und das zu ermittelnde specifische Gewicht ergiebt sich einfach durch Ablesen an der Skala.

Aräometer, welche nicht das specifische Gewicht, sondern unmittelbar den Gehalt einer Flüssigkeit an gelösten Stoffen angeben, heissen Procent-Aräometer. Je nach ihrer besonderen Bestimmung unterscheidet man sie in Saccharometer, Galactometer, Alkoholometer, Säuren- und Laugenspindeln.

Beim Gebrauch des Aräometers muss ganz besonders auf die Temperatur Acht gegeben werden; jedes Aräometer liefert nur für eine bestimmte Temperatur zutreffende Angaben; weicht von dieser die Beobachtungstemperatur ab, so hat eine Korrektion einzutreten, über die ein für allemal ausgerechnete Tabellen Auskunft ertheilen.

Specifisches Gewicht und Adhäsion. Wir wollen nunmehr einiges aus dem Gebiet der Adhäsionserscheinungen nachholen, was früher noch nicht besprochen werden konnte, weil der Begriff des specifischen Gewichtes unbekannt war.

Angeführt wurde schon (S. 14), dass zwischen je zwei Körpern eine Adhäsion stattfindet, dass aber die Rollen, welche die beiden Körper bei dem Vorgange der Adhäsion spielen, verschiedene sind.

Derjenige Körper nun, dessen specifisches Gewicht das geringere ist, wird dem andern, specifisch schwereren Körper ange-drückt.

Es ist dies eine Folge der Aetherwirkung in der Nähe der Berührungsfläche der Körper. Der specifisch leichtere Körper enthält in dem gleichen Volum weniger Masse und daher mehr Aether als der specifisch schwerere; die Moleküle in der Grenzsicht jenes Körpers erhalten also mehr nach aussen — auf den specifisch schwereren Körper zu — gerichtete Aetherstösse als umgekehrt.

Hat man es mit zwei flüssigen Körpern zu thun, so breitet sich der specifisch leichtere, in geringer Menge auf den specifisch schwereren gebracht, auf diesem in dünner Fläche aus; wird umgekehrt die specifisch schwerere Flüssigkeit in geringer Menge auf die specifisch leichtere gebracht, so sinkt sie annähernd in Kugelform in der letzteren zu Boden.

Ist der specifisch schwerere Körper fest, der specifisch leichtere flüssig, so wird jener von diesem benetzt (vgl. S. 14); Beispiel: Glas und Wasser; ist

der specifisch leichtere Körper dagegen fest, der specifisch schwerere flüssig, so tritt keine Benetzung ein; Beispiel: Glas und Quecksilber. — Diese Beziehungen treten aber nur dann ausgeprägt hervor, wenn chemische, Lösungs- und Mischungs-Einflüsse ausgeschlossen sind. Ferner muss die Oberfläche der zu untersuchenden Körper rein sein, d. h. es darf daran kein anderer Stoff — sei es auch nur in äusserst dünner Schicht — adhären. Endlich ist, wenn poröse Körper zur Beobachtung gelangen, unter dem specifischen Gewicht dasjenige der festen Masse (ausschliesslich der in den Poren enthaltenen Luft) zu verstehen.

Kapillarität. Besondere Erscheinungen treten auf, wenn sich eine Flüssigkeit in einem Gefäss (Becher, Röhre u. s. w.) befindet oder — einfacher — auf einer Seite durch eine feste Platte begrenzt wird.

Nehmen wir zunächst den letzteren Fall! Die Platte bestehe aus Glas. Ist dann die Flüssigkeit specifisch leichter als Glas (z. B. Wasser, Oel u. s. w.),

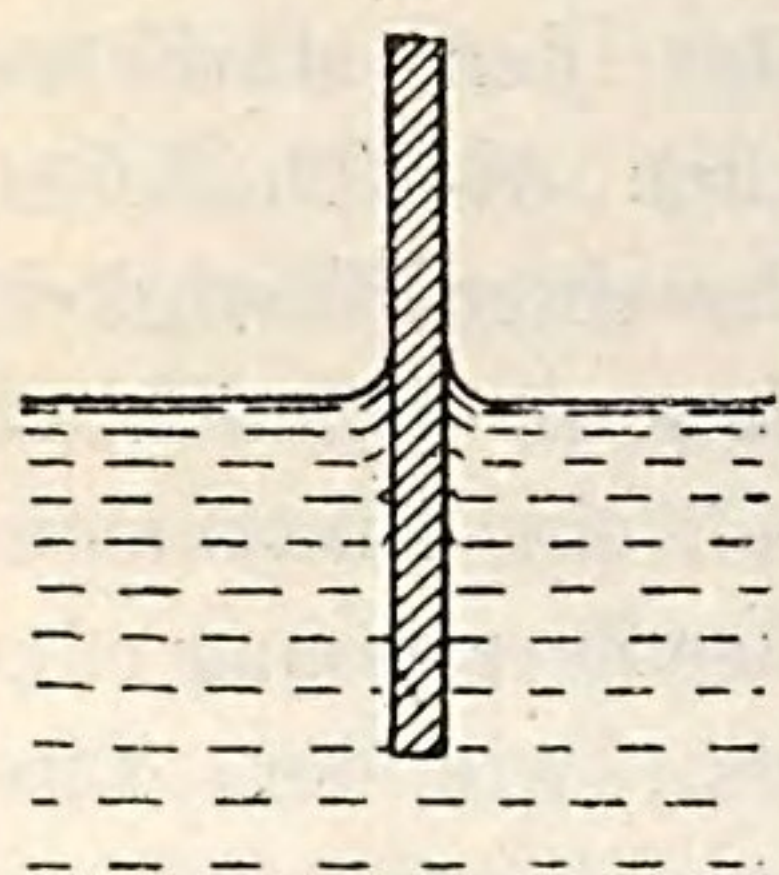


Fig. 37a.

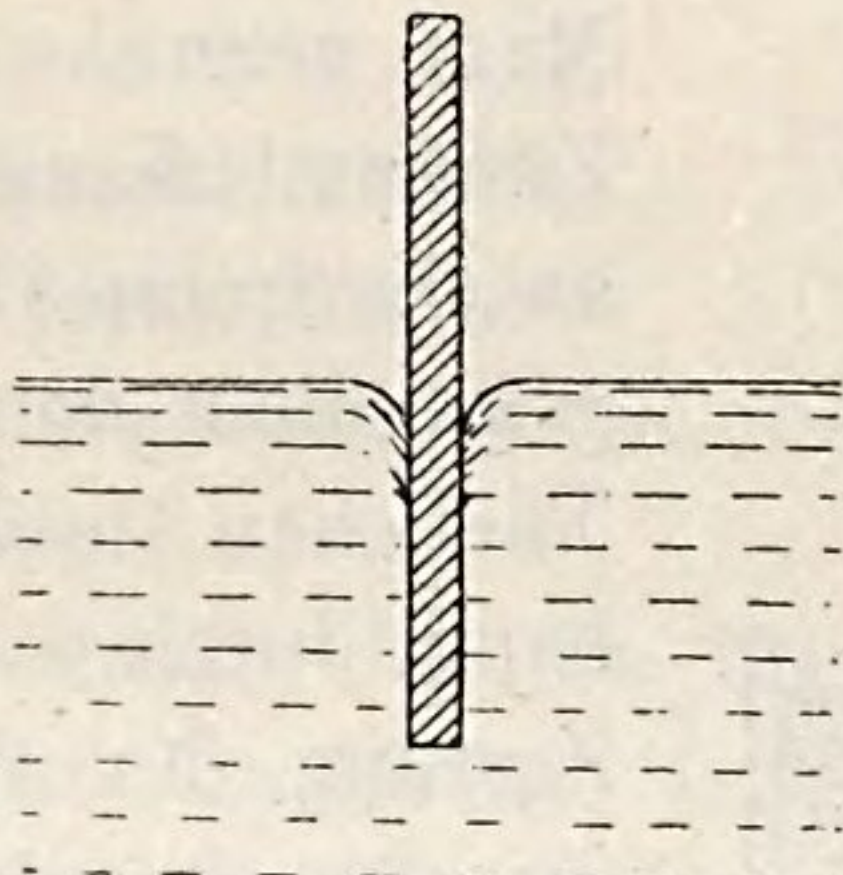


Fig. 37b.

Verschiedene Arten der Adhäsion.



Fig. 38a.



Fig. 38b.

Konkaver und konvexer Meniskus.

so steht ihre Oberfläche an der Berührungsstelle mit der Platte nicht senkrecht zu derselben, sondern sie zieht sich bogenförmig an der Platte hinauf. (Fig. 37a.) — Ist die Flüssigkeit specifisch schwerer als Glas (z. B. Quecksilber), so zieht sie sich von der Platte in gewölbter Form nach unten zurück. (Fig. 37b.) Die letztere Erscheinung erklärt sich so, dass nicht das Quecksilber dem Glase angedrückt wird, sondern — wenn es möglich wäre — das Glas dem Quecksilber angedrückt werden würde, und da dies nicht geht, weil das Glas ein fester Körper ist, der vom Glase ausgehende stärkere Aetherdruck wenigstens ein Zurückweichen der Flüssigkeit an der Grenze bewirkt.

In Gefässen zeigt sich ein ähnliches Aufwärts- oder Abwärtswölben von Flüssigkeiten. In engen Gefässen — insbesondere Röhren — bildet sich eine kuppenartige Einsenkung oder Erhebung der Flüssigkeit, die als konkaver oder konvexer Meniskus bezeichnet wird. (Fig. 38a und 38b.)

Taucht man das Ende eines sehr engen Glasrohrs, eines sogenannten Kapillar- oder Haarrohrs, in eine Flüssigkeit ein, so beobachtet man noch eine besondere Erscheinung. Die Flüssigkeit stellt sich nämlich in dem Glasrohr nicht gleich hoch mit der ausserhalb befindlichen Flüssigkeit, sondern entweder höher (wenn die Flüssigkeit das Glasrohr benetzt, also specifisch leichter als

Glas ist) oder tiefer (wenn die Flüssigkeit das Glasrohr nicht benetzt, also specifisch schwerer als Glas ist). (Fig. 39a und 39b.)

Diese Erscheinungen der Hebung oder Senkung werden Kapillar-Erscheinungen oder Erscheinungen der Kapillarität genannt, wobei mit dem Worte „Kapillarität“ die Kraft gemeint wird, welche die Erscheinungen hervorruft und die das Ergebniss der Adhäsion der Flüssigkeitstheilchen an festen Körpern und ihrer Kohäsion untereinander ist.

Je enger ein Kapillarrohr ist, desto grösser ist der Höhenunterschied der Flüssigkeit in und ausserhalb des Rohres. —

Auf die Kapillarität zurückzuführen ist das Eindringen und Aufsteigen von Flüssigkeiten in porösen Körpern, wie Lampendochten, Lösch- und Filtrirpapier, Schwämmen, Wischlappen, Zucker u. a. m. Hier wirken die feinen Porengänge als Haarröhrchen.

Oberflächenspannung der Flüssigkeiten. Die auf S. 66—67 geschilderten Adhäsionserscheinungen können bis zu einem gewissen Grade eine Störung erleiden durch die sogenannte Oberflächenspannung der Flüssigkeiten.

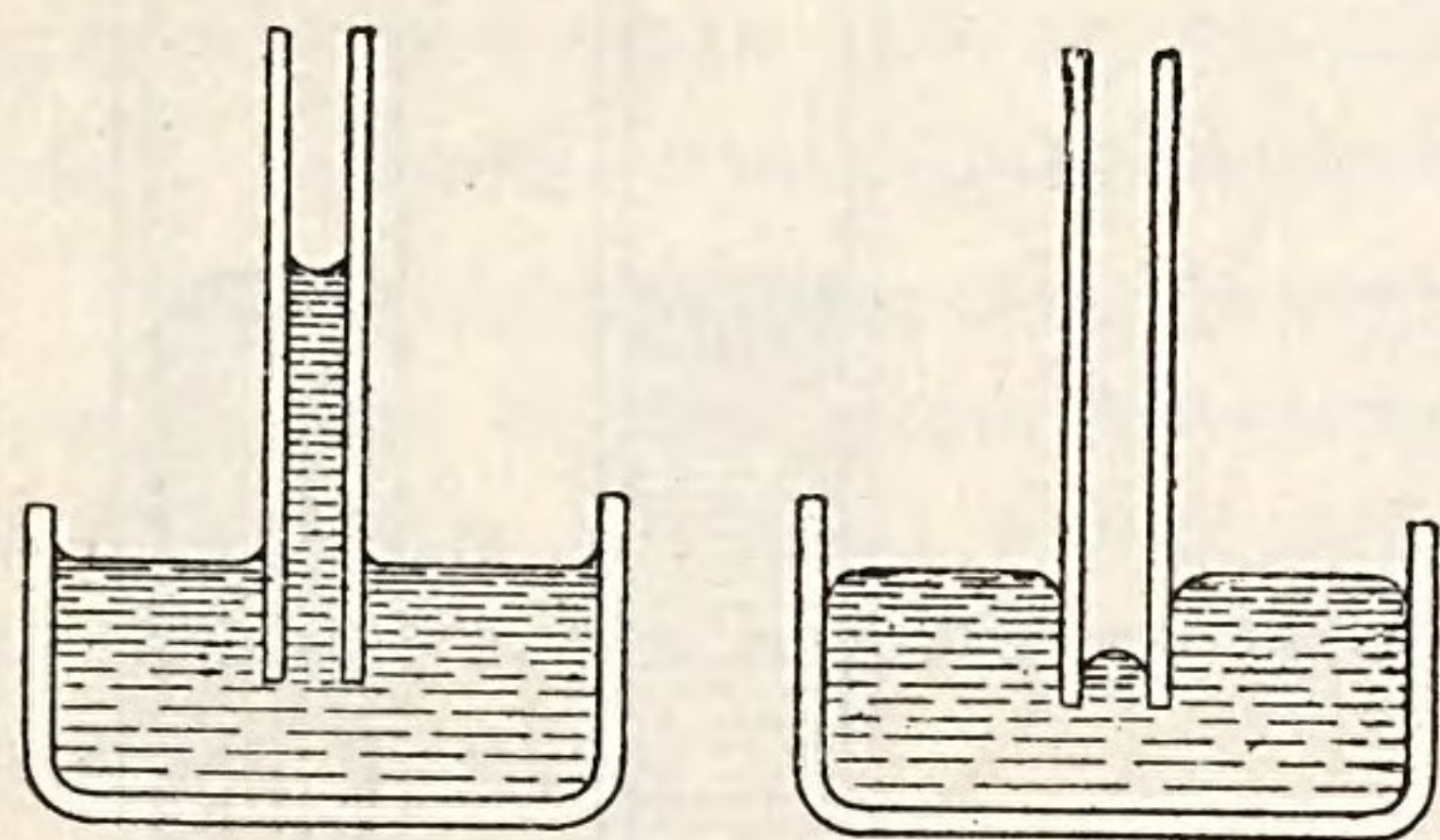


Fig. 39a.

Fig. 39b.

Kapillar-Erscheinungen.

Man versteht darunter den stärkeren Zusammenhang, welchen die Theilchen an der freien Oberfläche einer Flüssigkeit gegenüber den im Innern befindlichen Theilchen besitzen — ein Zusammenhang, durch welchen der Zerreissung oder Zerrung der Oberfläche, wie dem Eindringen fremder Körper in sie ein gewisser Widerstand geboten wird. Derselbe lässt sich auf die Adhäsionswirkung zurückführen, welche an der Oberfläche einer Flüssigkeit zwischen letzterer und

der Luft stattfindet; der von der specifisch leichteren Luft ausgehende Aetherdruck ist grösser als der von der Flüssigkeit nach aussen hin geübte, daher wird die Flüssigkeit an ihrer Oberfläche zusammengepresst. Doch ist auch die Anordnung der Moleküle der Flüssigkeit nicht ohne Bedeutung für die Oberflächenspannung.

Diosmose. Auf S. 16 war von der von selbst erfolgenden Mischung oder der Diffusion über einander geschichteter Flüssigkeiten die Rede. Dieselbe lässt sich z. B. bei Wasser und Alkohol beobachten, während z. B. Wasser und Oel, selbst wenn sie durch Schütteln gewaltsam durcheinander gebracht werden (Emulsion, S. 16), sich nach längerem Stehenlassen wieder voneinander sondern und nach Maassgabe ihres specifischen Gewichts übereinander lagern.

Werden nun zwei mischbare Flüssigkeiten durch eine poröse Wand (Schweinsblase, Pergamentpapier, Thoncyliner) voneinander getrennt, so geht auch durch deren Poren hindurch eine Mischung, ein Austausch beider Flüssigkeiten vor sich; dieser Vorgang heisst Diosmose (oder Endosmose oder kurzweg Osmose).

Das Eindringen des Wassers in die Pflanzenwurzeln und der Austausch der Säfte in der Pflanze selbst (von Zelle zu Zelle durch die Wandungen derselben hindurch) beruhen auf Diosmose.

Da verschiedene Körper durch dieselbe poröse Wand verschieden schnell hindurchtreten, so kann mittels der Diosmose eine Trennung von Körpern vorgenommen werden. Es geschieht das bei der Dialyse mit Lösungen aus Kolloid- und Krystalloïdsubstanzen. Zu ersteren gehören alle die Stoffe, welche unfähig sind zu krystallisiren und in Verbindung mit Wasser gallertartige Massen bilden (wie Stärkemehl, Dextrin, die Gummi-Arten, Leim; Kieselsäurehydrat, die Hydrate der Thonerde u. s. w.); während die Krystalloïdsubstanzen krystallisirbar und glatt löslich sind.

Da die Kolloïdsubstanzen durch eine poröse Wand erheblich langsamer diffundiren als die Krystalloïdsubstanzen, so werden aus einem Lösungsgemisch beider, das in einen unten mit Pergamentpapier verschlossenen und in ein Gefäss mit Wasser eintauchenden hohen Gutta-percha-Reifen (Dialysator — Fig. 40, *d*) gefüllt worden ist, die Krystalloïdsubstanzen in grosser Menge austreten und sich in dem Wasser lösen, während die Kolloïdsubstanzen grösstentheils in dem Dialysator zurückbleiben werden.

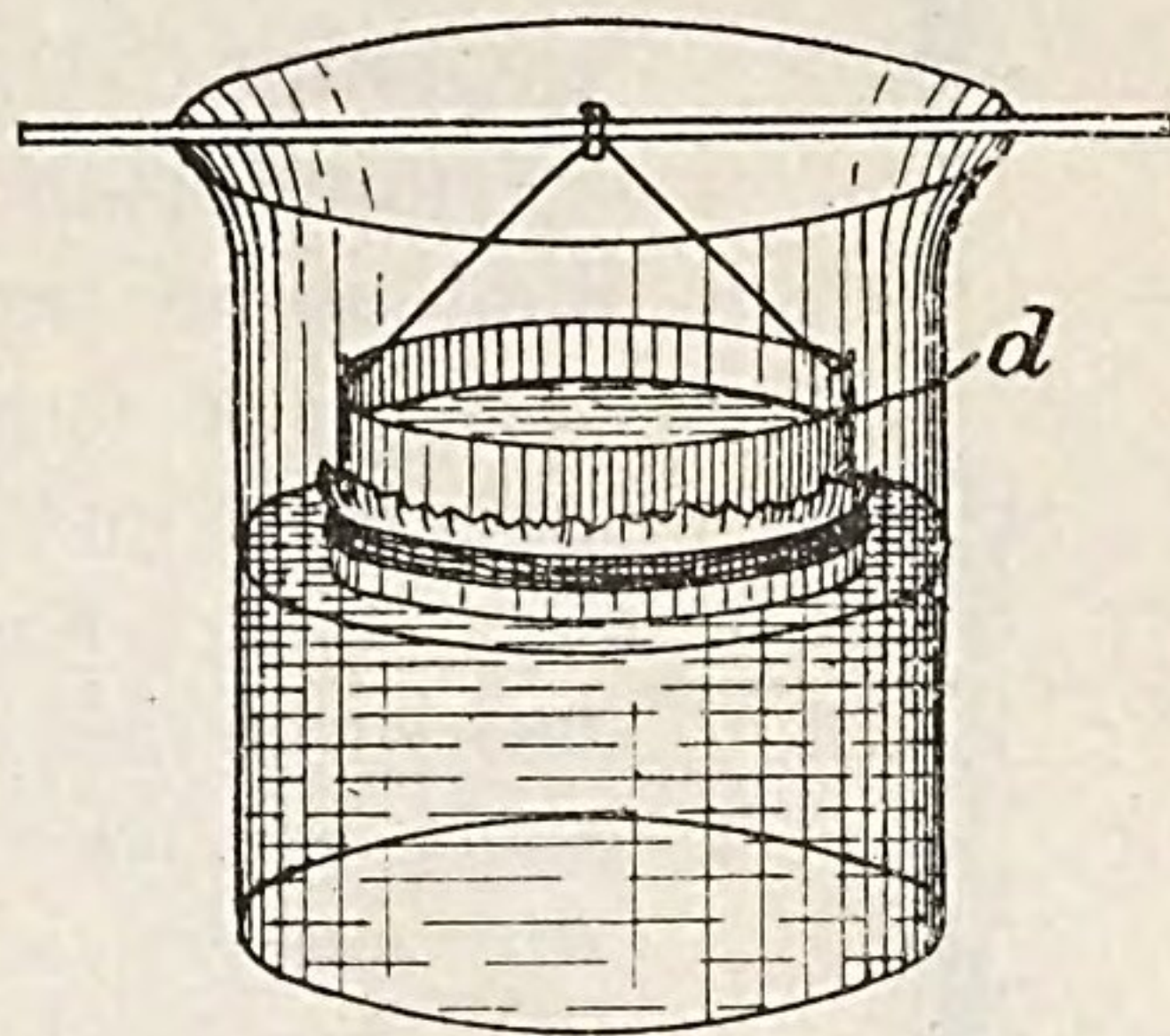


Fig. 40. Dialysator, in ein Gefäss mit Wasser eingehängt.

Auf diosmotische Vorgänge ist die Eigenschaft poröser Körper (Knochenkohle, Ackererde u. a.) zurückzuführen, beim Durchfiltriren von Flüssigkeiten die in denselben gelösten Farbstoffe, Salze u. s. w. zurückzuhalten, so dass die Lösung im entfärbten oder verdünnten Zustande abfließt.

7. Wirkungen der Schwerkraft auf luftförmige Körper.

(Mechanik der luftförmigen Körper.)

Spannkraft der Gase. Auf Seite 14 ist bereits der Elasticität der luftförmigen Körper oder Gase Erwähnung gethan. Dieselbe wird auch Spannkraft (Tension oder Expansivkraft) genannt, da sie es ist, welche die Gase nach dem Aufhören eines auf sie ausgeübten und ihr Volum verkleinernden Druckes wieder auseinander treibt oder gleichsam ausspannt. Während des äusseren Druckes offenbart sich die Spannkraft als ein innerer Widerstand, der jenem entgegenwirkt.

Die Spannkraft der Gase lässt sich an folgenden beiden Versuchen in überzeugendster Weise erkennen:

1. In einem unten geschlossenen Rohre (Fig. 41, *R* — die Figur stellt ein pneumatisches Feuerzeug dar) bewege sich, luftdicht schliessend, ein Stempel (*S*). Diesen drücke man nach unten, gegen

das geschlossene Ende des Rohrs hin und lasse ihn dann los. Alsbald wird er wieder durch die zusammengedrückte oder komprimierte Luft emporgetrieben werden.

2. Ein ringsum geschlossener, wenig Luft enthaltender und daher schlaffer Ball (oder Blase) wird unter die Glocke einer Luftpumpe gebracht und die Luft aus der Glocke ausgepumpt. Dann bläht sich der Ball (in Folge des verminderten Drucks der ihn umgebenden Luft) bedeutend auf.

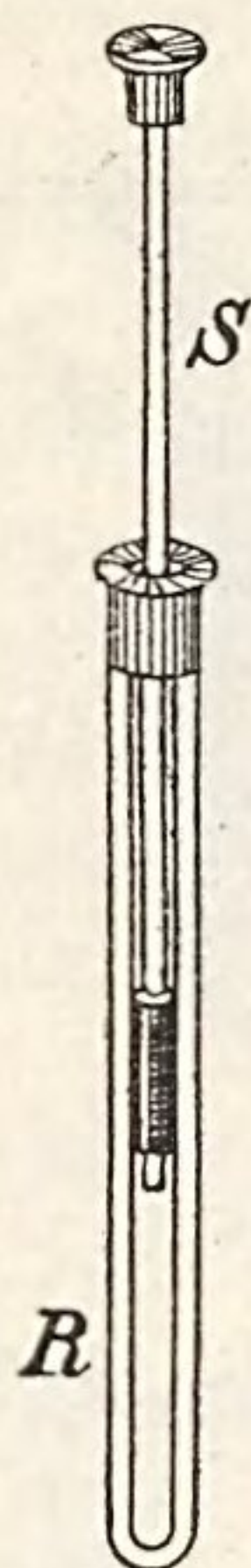


Fig. 41. Pneumatisches Feuerzeug.

Auch folgende Erscheinungen bzw. Wirkungen von Apparaten sind auf die Spannkraft der Luft zurückzuführen.

In der Knallbüchse wird die Luft zusammengepresst und sucht sich da einen Ausweg, wo der geringste Widerstand ist: an der Mündung, an der das Papier zersprengt oder aus der der Kork herausgeschleudert wird.

Im Anschluss hieran sei die Windbüchse erwähnt, in deren hohlem Kolben sich komprimierte Luft befindet, die durch Losdrücken des Hahns zum Theil herausgelassen werden kann, sich dabei ausdehnt, in den Büchsenlauf stürzt und die Kugel mit grosser Geschwindigkeit herausschleudert.

Die Taucherglocke ist ein unten offener grosser Kasten, der in das Meer hineingesenkt wird und in den das Wasser von unten her nicht eindringen kann, weil die in ihm enthaltene Luft wegen ihrer Spannkraft dem andrängenden Wasser Widerstand entgegensetzt.

Die Spritzflasche (Fig. 42) ist eine Glasflasche, die durch einen doppelt durchbohrten Kork (oder Gummistöpsel) verschlossen ist; durch die eine Durchbohrung geht ein Glasrohr (a), welches bis fast auf den Boden der Flasche reicht, ausserhalb derselben (in einem spitzen Winkel) schräg nach unten gebogen ist und in eine Spitze ausläuft, während in der anderen Durchbohrung ein unmittelbar unter dem Kork endigendes Glasrohr (b) steckt, das ausserhalb der Flasche (in einem stumpfen Winkel) schräg nach oben gebogen ist.

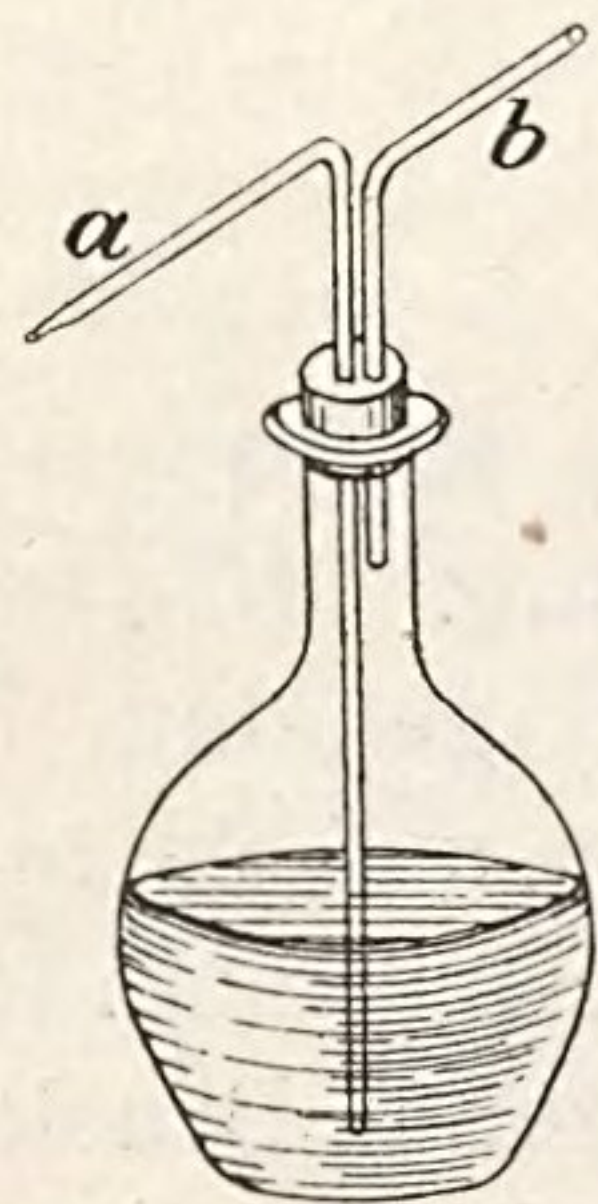


Fig. 42. Spritzflasche.

Bläst man nun in das kurze Rohr (b) mit dem Munde Luft hinein, so wird die in der Flasche befindliche Luft komprimiert, drückt daher in Folge ihrer Spannkraft auf das Wasser und treibt dieses in das lange Rohr (a) hinein und darin weiter, bis es aus der Spitze desselben in feinem Strahle ausfliesst.

Mariotte-Boyle'sches Gesetz. Wenn man eine abgeschlossene Menge Luft, z. B. die in dem kurzen Schenkel (A) eines U-förmig gebogenen Rohres (Fig. 43)

enthaltene Luft, welche durch Quecksilber darin abgesperrt ist, dem doppelten äusseren Druck aussetzt — auf die Weise, dass man in den längeren Schenkel (*B*) des Rohres mehr Quecksilber hineingiesst, so findet man, dass die Luft auf das halbe Volum zusammengedrückt wird. Da jenem doppelten äusseren Drucke eine doppelte Spannkraft der Luft entgegensteht, so lässt sich sagen, dass dieselbe Luftmenge, auf das halbe Volum — und damit auf die doppelte Dichtigkeit (das doppelte spezifische Gewicht) — gebracht, die doppelte Spannkraft besitzt. Da die gleiche Beziehung (zwischen dem äusseren Druck oder der Spannkraft einerseits und dem Volum andererseits) obwaltet, wenn man den Druck auf das dreifache, vierfache u. s. w. erhöht, so gilt allgemein:

Die Spannkraft eines Gases (oder der auf dasselbe ausgeübte Druck) ist der Dichtigkeit direkt, dem Volum umgekehrt proportional. (Mariotte-Boyle'sches Gesetz; aufgestellt 1662 von Boyle und unabhängig von ihm 1679 von Mariotte.)

Zum Verständniss der Wirkung des Apparates sei noch bemerkt, dass der Druck, unter welchem die in *A* abgesperrte Luft steht, nicht allein dem Höhenunterschiede des Quecksilbers in *A* und *B* entspricht, sondern dass zu diesem noch der Druck der auf *B* lastenden atmosphärischen Luft hinzukommt, dessen Wirkung (im Mittel) gleich der einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe ist. Hiervon wird sogleich des Weiteren die Rede sein.

Schwere der Luft. Die Luft (sowie jedes andere Gas) besitzt gleich den festen und flüssigen Körpern eine gewisse Schwere. Dies lässt sich unmittelbar durch Wägung nachweisen. Bestimmt man nämlich das Gewicht einer Glaskugel, wenn sie einmal mit Luft gefüllt und ein zweites Mal luftleer gepumpt ist, so stellt sich im zweiten Falle ein erheblich geringeres Gewicht heraus als im ersten.

Das spezifische Gewicht eines Gases (auf Wasser als Einheit bezogen) kann ermittelt werden, indem man, an den eben genannten Versuch anknüpfend, die Glaskugel drittens mit Wasser füllt und wägt. Man dividirt dann das Gewicht des Gases durch das des Wassers (beide erfüllten dasselbe Volum).

Das spezifische Gewicht der Luft, auf Wasser bezogen, ist $= 0,001293$. Das heisst zugleich: 1 ccm Luft wiegt (bei 0° und 760 mm Barometerstand — vergl. das Folgende) 0,001293 g; 1 l Luft wiegt somit 1,293 g.

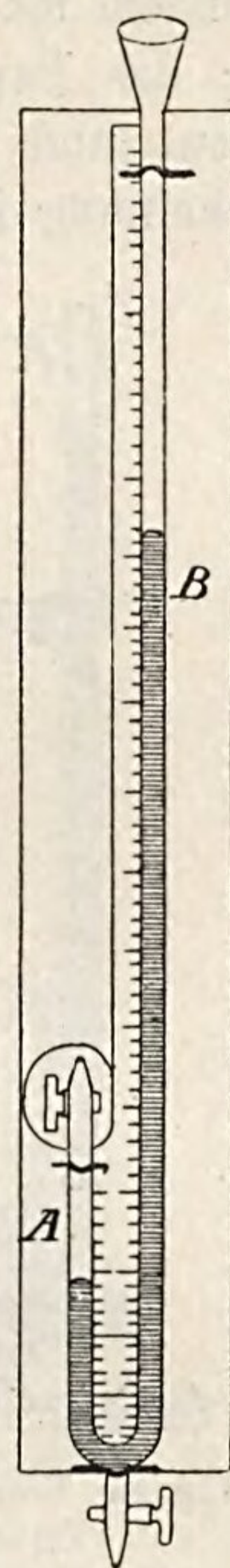


Fig. 43. Nachweis des Mariotte-Boyle'schen Gesetzes.

Luftdruck. Die Schwere der Luft äussert sich in einem Druck, den die Atmosphäre (die Lufthülle der Erde) auf die an der Erdoberfläche befindlichen Körper ausübt. Dieser Druck verbreitet sich (wie der Druck innerhalb einer Flüssigkeit) nach allen Richtungen mit gleicher Stärke.

Ein Beweis für die Ausbreitung des Drucks nach allen Richtungen ist unter zahlreichen Erscheinungen, die das Gleiche darthun, der folgende: Man füllt ein Glas bis an den Rand mit Wasser, legt ein Stück Papier darauf, kehrt es, indem man das Papier mit der Hand andrückt, um und nimmt nun die Hand fort; das Papier bleibt alsdann, trotz der Schwere des Wassers, am Glasrand haften, und es fliesst kein Wasser aus dem Glase heraus. Die Ursache dieser Erscheinung ist der von unten her wirkende Druck der atmosphärischen Luft.

Das Papier hat nur die Aufgabe, das Eindringen von Luft in das Wasser (das wegen des geringen specifischen Gewichts der Luft im Verhältniss zum Wasser erfolgen würde) zu verhindern.

Wenn man ein etwa 1 m langes, an einem Ende geschlossenes Glasrohr mit Quecksilber füllt, dann umkehrt, so dass das offene Ende, das man mit dem Finger zuhält, sich unten befindet, und dieses, wie Fig. 44 zeigt, unter Quecksilber bringt, so sinkt das Quecksilber im Rohre so weit, bis es (im Mittel) 760 mm hoch über dem Quecksilberspiegel in dem Gefässe *G* steht. Über dem Quecksilber in der Röhre (bei *V*) entsteht ein luftleerer Raum, ein sogenanntes Vacuum.

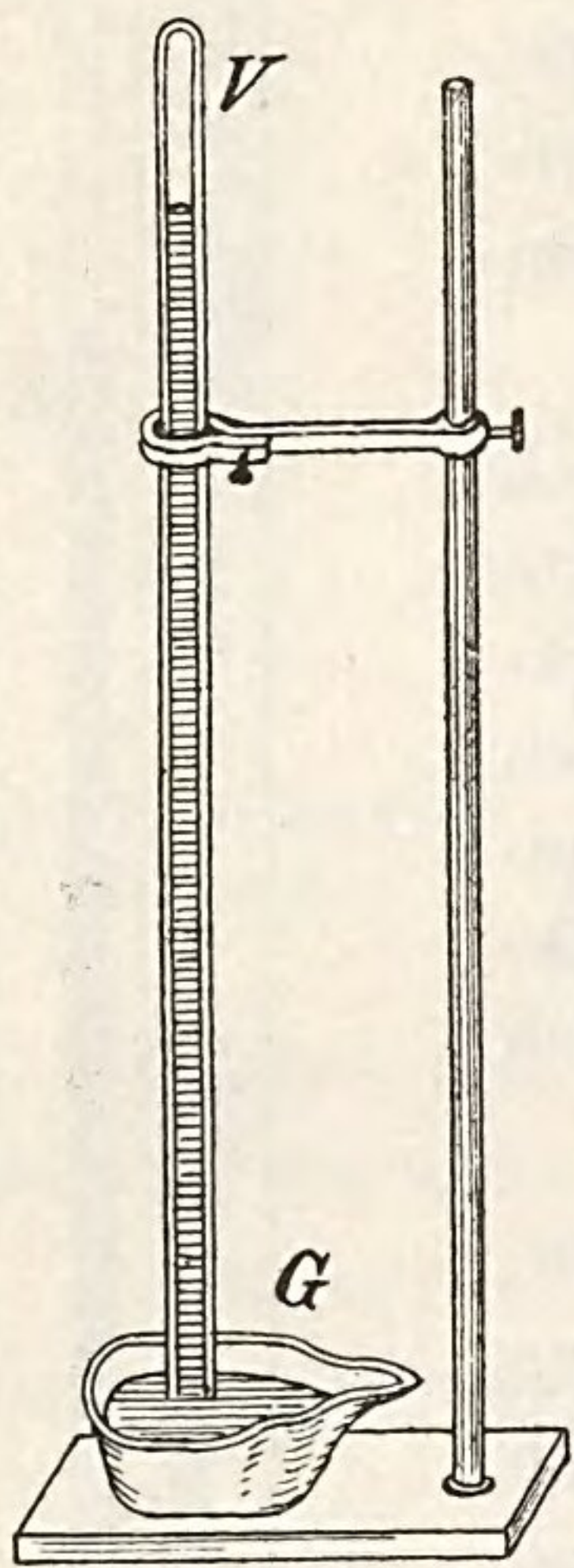


Fig. 44. Torricelli'scher Versuch.

Der geschilderte Versuch heisst der Torricelli'sche, das Vacuum heisst Torricelli'sche Leere. (Torricelli, ein Schüler Galilei's, 1643.)

Das Vacuum bildet sich, weil der äussere Luftdruck nur dem Gewicht einer gewissen Quecksilbersäule das Gleichgewicht zu halten vermag. Ist die Röhre 1 qcm weit, so trägt der Druck der atmosphärischen Luft 76 ccm Quecksilber oder, da das specifische Gewicht des Quecksilbers = 13,59 ist, ein Gewicht von $76 \cdot 13,59 \text{ g} = 1033 \text{ g} = 1,033 \text{ kg}$. — Einen derartigen Druck (von 1,033 kg) übt also auch die Luft auf 1 qcm aus. Er heisst daher der Atmosphärendruck oder der Druck von einer Atmosphäre.

Aber nicht überall und jederzeit ist der Druck der atmosphärischen Luft derselbe. Mit der Erhebung über die Erdoberfläche nimmt der Luftdruck ab, weil die Höhe der Luftsäule über dem Beobachter geringer wird (die Lufthülle der Erde hat nach oben ihre Grenze). Ferner wird der Luftdruck durch die

Erwärmung der Atmosphäre seitens der Sonne, durch die Luftbewegung (Winde und Stürme) und durch den Wasserdampfgehalt der Atmosphäre geändert.

Die Angabe, dass der Luftdruck im Mittel so gross ist, dass er einer Quecksilbersäule von 760 mm das Gleichgewicht hält, gilt für die Höhe des Meerespiegels und für die Temperatur 0° . Auf die Temperatur ist desshalb Rücksicht zu nehmen, weil die Wärme das Quecksilber ausdehnt und daher seine Höhe steigert.

Barometer. Die Grösse des Luftdrucks wird mit dem Barometer gemessen. Wir unterscheiden die Quecksilberbarometer und die Aneroidbarometer.

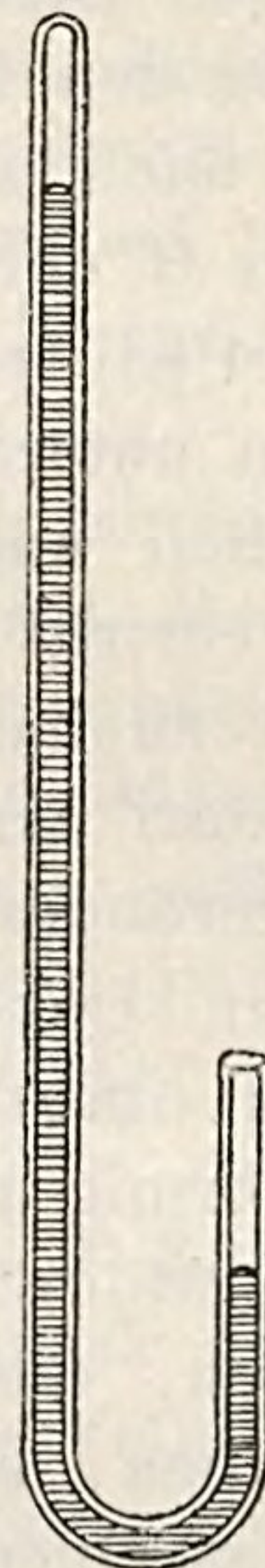
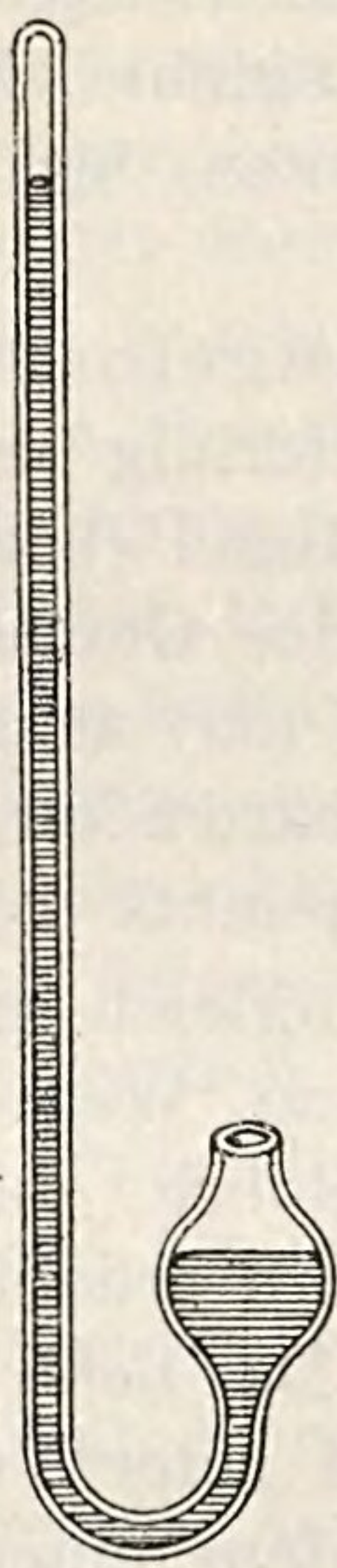
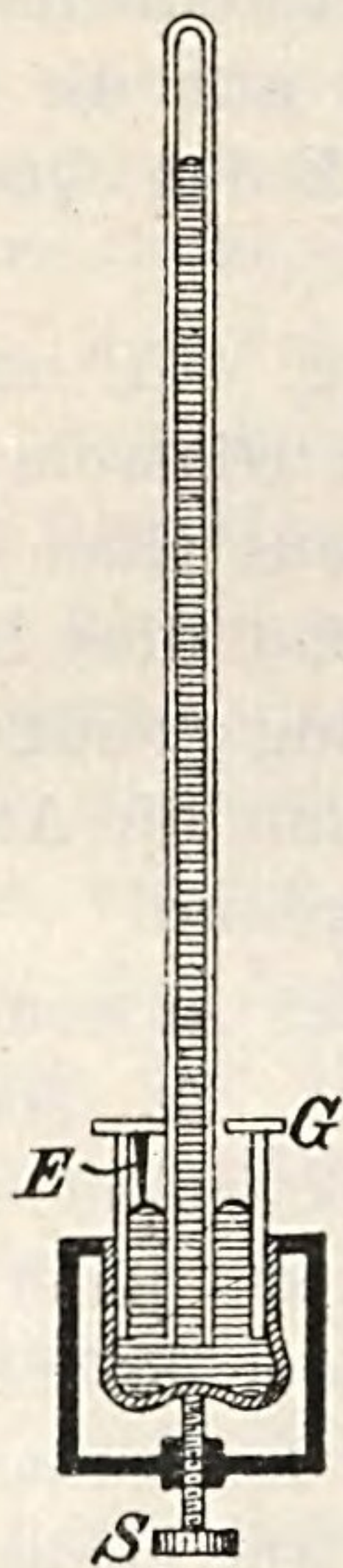


Fig. 45. Gefässbarometer. Fig. 46. Kugelbarometer. Fig. 47. Heberbarometer.

Die Quecksilberbarometer sind nach dem Princip der in Fig. 44 dargestellten Torricelli'schen Röhre hergestellt. Nach ihren verschiedenen Formen unterscheidet man sie in Gefässbarometer, Phiolen- oder Kugelbarometer und Heberbarometer.

Das Gefässbarometer ähnelt in seiner einfachsten Gestalt vollkommen dem Torricelli'schen Instrument: eine über 800 mm lange, am einen Ende geschlossene, am andern Ende offene Glasröhre wird mit Quecksilber gefüllt und mit dem offenen Ende in ein Gefäss mit Quecksilber getaucht; an der Röhre ist eine in Millimeter (früher in Zoll) eingetheilte Skala angebracht, an der man die Höhe der Quecksilbersäule abliest; als Nullpunkt der Skala gilt die mittlere Höhe des Quecksilberspiegels in dem unteren Gefäss.

Da aber die wirkliche Höhe dieses Quecksilberspiegels um die mittlere Höhe schwankt, so müssen die Ablesungen ungenau sein. Man hat daher, um diesem Uebelstande abzuhelpen, den Quecksilberspiegel im unteren Gefäss beweglich gemacht, so dass man ihn bei jeder Ablesung auf den Nullpunkt der Skala einstellen kann. Dies ist auf die Weise geschehen, dass das Gefäss (Fig. 45, *G*) unten durch eine Lederkappe verschlossen ist, die mittels der Schraube *S* gehoben oder gesenkt werden kann. Vom Deckel des Gefässes, der zur Verbindung mit der äusseren Atmosphäre mit einer engen Oeffnung versehen ist, ragt eine Elfenbeinspitze (*E*) herab, die den Nullpunkt angiebt. Man bewegt nun die Schraube so lange nach oben oder unten, bis die Spitze *E* den Quecksilberspiegel in *G* eben berührt.

Das Phiolen- oder Kugelbarometer (Fig. 46), besteht aus einem am unteren Ende U-förmig umgebogenen Glasrohr, das in eine seitlich angebrachte Kugel (bezw. Birne) aus Glas übergeht. Letztere vertritt die Stelle des Gefässes. Während dies Barometer bequemer zu handhaben ist und zu seiner Füllung weniger Quecksilber bedarf als das Gefässbarometer, sind bei ihm die Ablesungen — des veränderlichen Nullpunkts wegen — ungenau.

Allen Uebelständen zugleich geht man bei Anwendung des Heberbarometers aus dem Wege. (Fig. 47.) Es besteht aus einer U-förmig gebogenen Röhre, deren einer Schenkel etwa 1 m lang ist, während der andere erheblich kürzer ist; jener ist oben geschlossen, dieser offen. Da beide Schenkel der Röhre dieselbe Weite haben, so steigt bei jeder Veränderung des äusseren Luftdrucks das Quecksilber in dem einen Schenkel um ebensoviel, als es in dem andern Schenkel fällt, und man hat nur nöthig, den Höhenunterschied des Quecksilbers in beiden Schenkeln zu bestimmen.

Das Ablesen wird entweder auf die Weise vereinfacht, dass man die Skala beweglich macht und ihren Nullpunkt auf den Quecksilberspiegel in dem kürzeren Schenkel einstellt, oder dass man beide Schenkel mit einer eingezätzten Theilung versieht, deren Nullpunkt das Ende des kürzeren Schenkels ist und die an dem längeren Schenkel nach oben, an dem kürzeren nach unten fortschreitet; um den Barometerstand zu erhalten, muss man dann die Zahlen, auf die sich das Quecksilber in beiden Schenkeln einstellt, addiren.

Die Genauigkeit der Angaben eines Quecksilberbarometers ist von verschiedenen Bedingungen abhängig.

Erstens muss der Raum über dem Quecksilber ein wirkliches Vacuum (also wirklich völlig luftleer) sein, was nicht der Fall ist, sobald an der Glaswandung

noch Luft adhärirt; um diese zu beseitigen, wird das Quecksilber im Barometerrohr ausgekocht.

Zweitens muss das Quecksilber chemisch rein sein, weil eine Verunreinigung durch andere Metalle sein specifisches Gewicht und damit seine Höhe im Barometerrohr verändert.

Drittens darf das Barometerrohr nicht zu eng sein, damit der Stand des Quecksilbers nicht in Folge der Kapillarität beeinflusst wird.

Viertens muss der Beobachter sein Auge in gleiche Höhe mit dem Quecksilberspiegel bringen und den höchsten Punkt des Meniskus als Marke für die Ablesung benutzen. Das Barometer selbst muss genau senkrecht hängen.

Fünftens muss auf die Temperatur Rücksicht genommen werden, da dieselbe, je nachdem ob sie steigt oder sinkt, das Volum des Quecksilbers vergrössert oder verringert. Zur Erlangung genauer und vergleichbarer Beobachtungen werden aus diesem Grunde die direkten Barometerablesungen auf 0° reducirt.

Das Aneröidbarometer kommt in zwei Formen vor: als Metallic (von Bourdon) und als Holosteric (von Vidi).

Der Hauptbestandtheil des ersteren ist eine kreisförmig gebogene, ringsum geschlossene, möglichst luftleer gemachte Messingröhre, welche durch eine Zunahme des Luftdrucks stärker gekrümmt wird (weil die äussere, grössere Fläche der Röhre eine stärkere Druckzunahme erfährt als die innere, kleinere Fläche), während eine Abnahme des Luftdrucks eine Streckung der Röhre bewirkt. Die Bewegung der Röhrenenden werden auf einen Zeiger übertragen.

Das Holosteric hat an Stelle der Messingröhre eine luftleer gemachte, ringsum geschlossene kupferne Dose oder Kapsel, deren wellenförmiger Deckel bei wechselndem Luftdruck mehr oder weniger eingedrückt wird. Eine starke metallene Feder zieht den Deckel nach oben und aussen und bewirkt so, dass er beim Nachlassen des Luftdrucks nicht eingedrückt bleibt. Die Bewegungen, welche — dem Luftdruck entsprechend — der Mittelpunkt des Deckels macht, werden durch ein Hebelwerk vergrössert und auf einen Zeiger übertragen.

Die Skala für den Zeiger wird nach den Angaben eines Quecksilberbarometers gefertigt.

Während die Aneröidbarometer einerseits wegen ihrer handlichen Grösse und Form und ihrer geringen Zerbrechlichkeit den Quecksilberbarometern vorzuziehen sind, wenn es sich um weitere Beförderung (auf Reisen und bei Höhenmessungen) handelt, stehen sie doch den letzteren insofern nach, als sich mit der Zeit die Elasticität der Metallgehäuse vermindert. Von Zeit zu Zeit muss daher ein Aneröidbarometer mit einem guten Quecksilberbarometer verglichen werden.

Höhenmessung und Wettersvorhersage. Das Barometer wird ausser zur Messung des Luftdrucks noch zur Höhenmessung und bei der Wettersvorhersage benutzt.

Bezüglich der Höhenmessung sei Folgendes bemerkt: Die Abnahme des Luftdrucks mit wachsender Erhebung über die Erdoberfläche findet nicht gleichmässig statt, so dass also einer gleich grossen senkrechten Erhebung nicht durchweg dieselbe Verminderung des Barometerstandes entspricht; sondern diese Verminderung wird mit zunehmender Höhe geringer. Der Grund hierfür ist der, dass die unteren Luftschichten — als die Theile eines elastischen Körpers — von der darüber befindlichen Luftmenge stärker zusammengedrückt, somit dichter werden und daher eine grössere Spannkraft annehmen, die sich auf das Barometer äussert.

Erste Höhenmessung durch Pascal und Périer am 19. September 1648 auf dem Puy-de-Dôme (970 m).

Als Wetterglas kann das Barometer nur in sehr beschränktem Umfang benutzt werden. Seine Verwendung beruht darauf, dass 1. trockene Luft specifisch schwerer ist als Wasserdampf und damit auch specifisch schwerer als feuchte Luft und 2. Luftdepressionen oder Luftminima (d. h. Luftgebiete mit verdünnter und daher geringe Spannkraft besitzender Luft) meist Niederschläge mit sich führen, Luftmaxima aber trockene Luft enthalten. Hat daher das Barometer einen tiefen Stand, so kann vermuthet werden, dass trübes, regnerisches Wetter sich einstellen werde; hat das Barometer einen hohen Stand, so kann mit mehr Wahrscheinlichkeit auf heiteres, trockenes Wetter gerechnet werden. — Dabei kommt es aber auch noch darauf an, welche Unterschiede das Barometer des Beobachtungsortes gegen die Barometer der näheren und selbst weiteren Umgegend aufweist. Und ferner hängt das Wetter noch von viel mehr Bedingungen ab, die ihrerseits oft schwankend und schwer zu übersehen sind.

Heber-Apparate und Pumpen. Auf der Thatsache des Luftdrucks sowie der Spannkraft der Luft beruht die Einrichtung des Stechhebers, der Pipetten, des Saughebers, des Zerstäubers, der Saugpumpe, der Druckpumpe und der Feuerspritze.

Vor der Besprechung dieser Apparate sei kurz das Wesen des Saugens erörtert. Taucht man das eine Ende einer Röhre in Wasser und saugt an dem andern, so drückt man die im Munde bis zu den Lungen befindliche Luft zusammen; dadurch entsteht im Munde ein luftverdünnter Raum, den die Luft in der Röhre auszufüllen trachtet; die Folge hiervon ist, dass auch diese Luft in der Röhre sich verdünnt und an Spannkraft verliert. So übertrifft denn der äussere Luftdruck, der auf dem Wasser lastet, die genannte Spannkraft und treibt, weil das Gleichgewicht gestört ist, das Wasser in die Röhre hinein, bis — wenn man etwa plötzlich mit dem Saugen anhält — die Spannkraft der Luft im oberen Theil der Röhre nebst dem Druck der in die Röhre eingedrungenen Wassersäule dem äusseren Luftdruck gleich ist.

Der Stechheber und die (gleich den Büretten — S. 56) bei der chemischen Maassanalyse Verwendung findenden Pipetten

(Fig. 48) sind oben und unten offene Gefässe (meist aus Glas), die in der Mitte kugelförmig oder cylindrisch erweitert, am unteren Ende sehr eng und am oberen Ende nur so weit sind, dass sie mit dem Daumen verschlossen werden können.

Taucht man beispielsweise die Pipette Fig. 48 *a* mit ihrem unteren Ende *A* in Wasser ein und saugt durch das obere Ende *C* die Luft aus, so dringt das Wasser in Folge des äusseren Luftdrucks in die Pipette ein und steigt darin bis zu einem gewissen Punkte (*B*) empor.

Hält man nun das obere Ende (*C*) zu, so bleibt das Wasser in der Pipette, weil der äussere Atmosphärendruck es selber trägt sowie der geringen Spannkraft der über *B* befindlichen Luft, die durch das Saugen verdünnt wurde, das Gleichgewicht hält. In Blasenform kann die äussere Luft bei *A* nicht eindringen und so das specifisch schwerere Wasser verdrängen, weil die Oeffnung zu klein ist. — Lässt man die Oeffnung *C* wieder frei, so fliesst das Wasser bei *A* ab.

Die Pipetten dienen nicht nur — wie der Stechheber — zum Ausheben von Flüssigkeitsproben, sondern auch zum Abmessen genau bestimmter Mengen einer Flüssigkeit; daher haben sie entweder einen bestimmten Rauminhalt und dann eine Marke, die dessen obere Grenze bezeichnet (Fig. 48, *a* und *b*): Vollpipetten — oder sie besitzen eine Volumeintheilung (Fig. 48, *c*): Messpipetten.

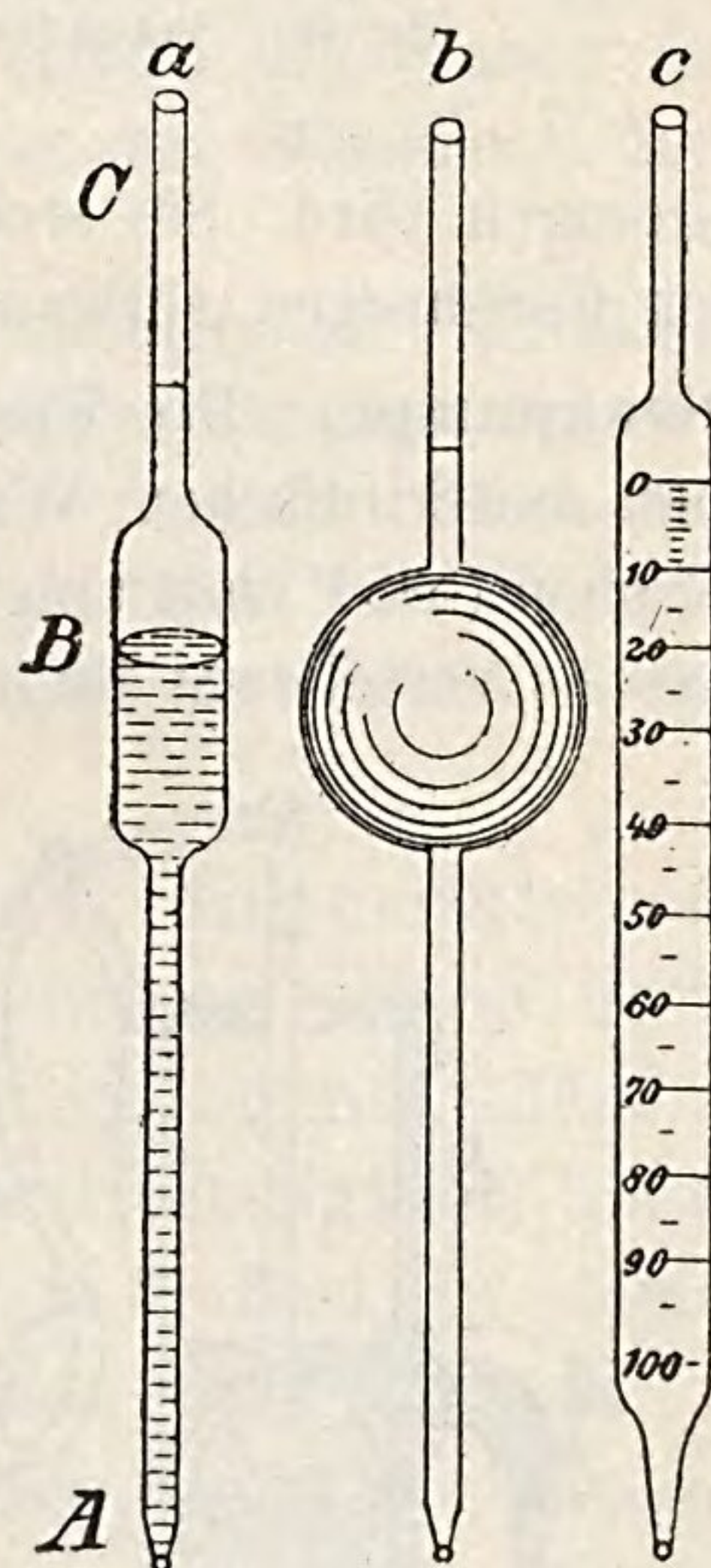


Fig. 48a—c. Pipetten.

Der Saugheber (Fig. 49) ist eine V-förmig gebogene Röhre mit ungleich langen Schenkeln, deren kürzerer in eine Flüssigkeit eingetaucht wird, während man an dem längeren saugt. Hat sich der Heber vollständig mit Flüssigkeit gefüllt, so fliesst dieselbe so lange aus dem längeren Schenkel aus, bis der kürzere Schenkel nicht mehr in die Flüssigkeit eintaucht oder bis — für den Fall, dass auch der längere Schenkel in ein Gefäss hineingehalten oder hineingehängt wird — die Flüssigkeit an beiden Schenkeln aussen gleich hoch steht.

Das Ausfliessen — das Hinüberbewegen der Flüssigkeit von *A* über *B* nach *C* — erfolgt aus dem Grunde, weil dem auf die Flüssigkeit im linken Gefäss wirkenden Luftdruck die kurze Flüssigkeitssäule *AB*, dem auf die Flüssigkeit im rechten Gefäss wirkenden Luftdruck die lange Flüssigkeitssäule *BC* entgegenwirkt, so dass der übrigbleibende Druck links grösser ist als rechts.

Als Saugheber kann jeder Kautschukschlauch benutzt werden.

Der Zerstäuber besteht aus zwei in feine Spitzen ausgezogenen Glasröhren, die rechtwinklig zu einander stehen, und zwar so, dass das obere spitze Ende der senkrecht stehenden Röhre, die mit ihrem unteren Ende in eine Flüssigkeit eintaucht, sich vor der Mitte der spitzen Oeffnung der wagerecht laufenden Röhre befindet; wird nun durch die letztere entweder mit dem Munde

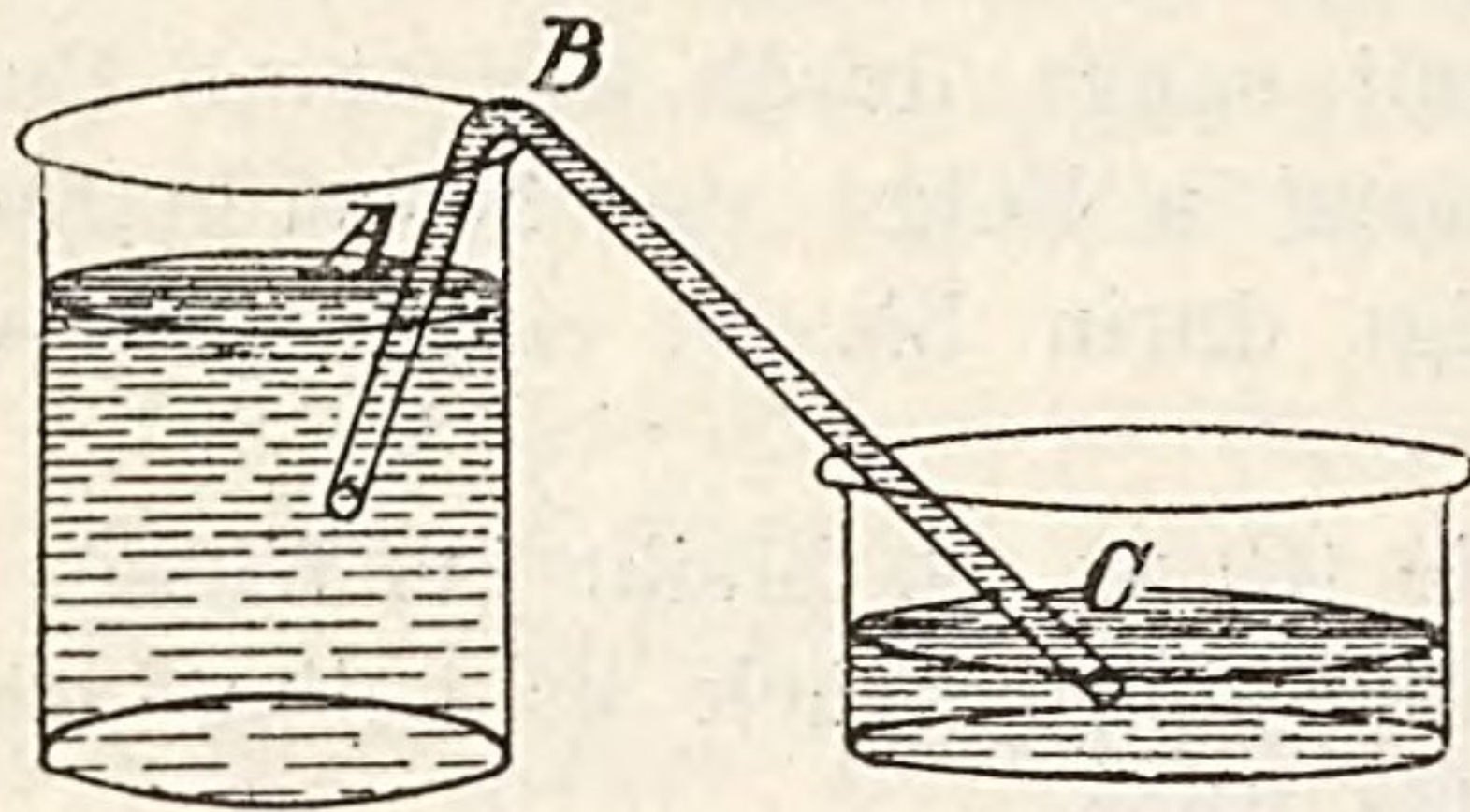


Fig. 49. Saugheber.

oder mittels eines Kautschukballs Luft oder — bei den Inhalationsapparaten — aus einem kleinen Kessel Wasserdampf hindurchgetrieben, so reissen die bewegten Gas-theilchen aus der senkrechten Röhre Luft mit sich fort, so dass die zurückbleibende Luft an Spannkraft verliert und in Folge dessen die Flüssigkeit in die senkrechte Röhre

hineingesogen wird. Sie steigt bis zur Spitze und wird hier durch den Gasstrom in einen Sprühregen verwandelt.

Saugpumpe. Die Einrichtung der Saugpumpe (Fig. 50a) ist folgende: In einen unterirdischen Wasserbehälter (den Brunnenkessel) taucht ein unten offenes, oben (bei *V*) mit einem Ventil — das heisst einem einseitigen Verschluss — versehenes Rohr ein: das Saugrohr (*S*). Ihm ist ein zweites Rohr,

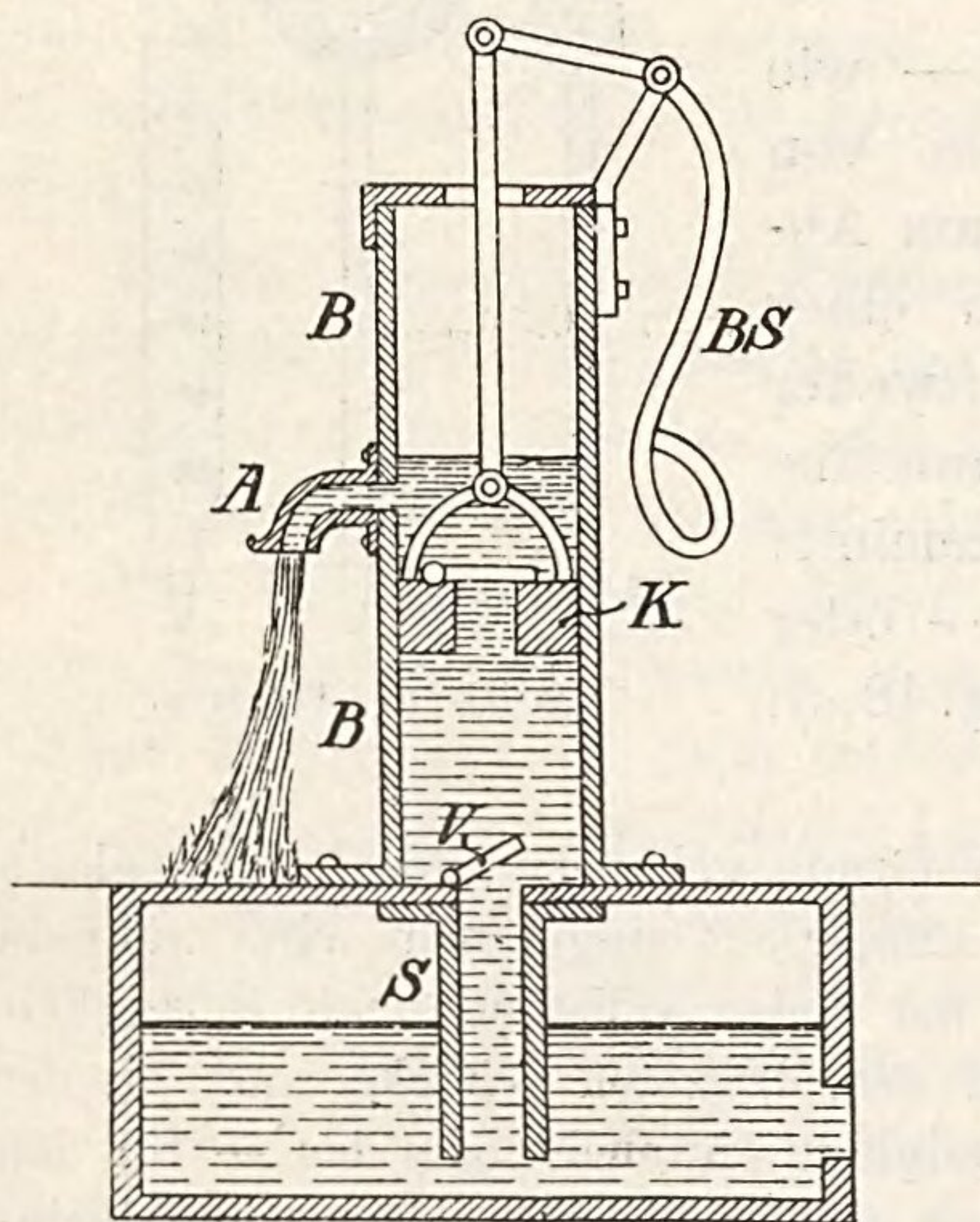


Fig. 50 a. Saugpumpe.

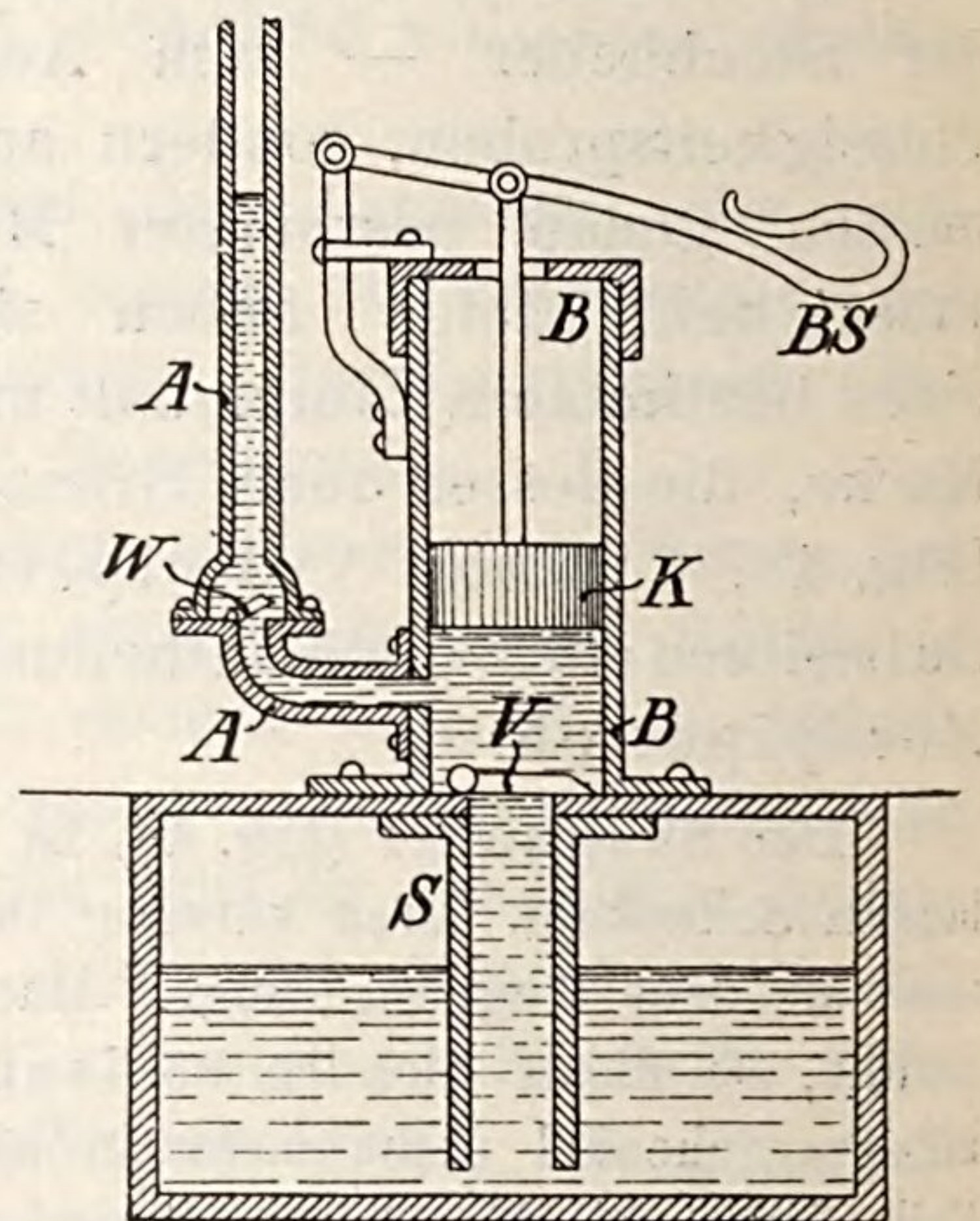


Fig. 50 b. Druckpumpe.

das Brunnen- oder Pumpenrohr (*B*) aufgepasst, das oben seitwärts ein kleineres Ausflussrohr (*A*) trägt. Im Brunnenrohr geht ein dichtschiessender, durchbohrter und oben ebenfalls mit einem Ventil versehener Kolben (*K*) auf und nieder, der durch den aussen an der Kolbenstange befestigten, einen Hebel vorstellenden Brunnen- oder Pumpenschwengel (*BS*) bewegt wird. Beide Ventile

sind Klappenventile und öffnen sich nach oben; das untere heisst Bodenventil, das obere, im Kolben befindliche, Kolbenventil. Wird der Kolben in die Höhe bewegt, so wird die Luft unter ihm verdünnt, verliert an Spannkraft, und das Wasser dringt, indem sich das Bodenventil öffnet, in das Saugrohr und das Brunnenrohr ein. Beim Abwärtsbewegen des Kolbens kann das im Brunnenrohr befindliche Wasser nicht zurück, da sich das Bodenventil nach unten schliesst; daher begiebt es sich, das Kolbenventil emporhebend, durch den Kolben hindurch in den oberen Theil des Brunnenrohrs. Bei weiterem Heben des Kolbens wird es mitgehoben, da sich jetzt das Kolbenventil nach unten schliesst, und fliesst, an das Ausflussrohr gelangt, durch dieses ab.

Druckpumpe. Bei der Druckpumpe (Fig. 50b) ist der Kolben (*K*) nicht durchbohrt; dagegen ist in dem nur wenig oberhalb des Bodenventils (*V*) vom Brunnenrohr (*B*) sich abzweigenden Ausfluss- oder Steigrohr (*A*) ein nach oben sich öffnendes Ventil (*W*) vorhanden. Der Kolben drückt das Wasser in das Steigrohr hinein, und das genannte Ventil verhindert das Wasser am Zurückfliessen.

In der Feuerspritze kommt ausser zwei Druckpumpen ein Windkessel zur Anwendung, in welchen durch die Pumpen das Wasser hineingetrieben wird und eine Kompression (Zusammendrückung) der Luft bewirkt. Diese und die mit ihr verbundene Steigerung der Spannkraft der Luft treibt das Wasser dann durch ein tief in den Windkessel hinabreichendes Rohr und einen daran befestigten Schlauch in kräftigem Strahl hinaus.

Manometer. Zur Messung der Spannkraft eingeschlossener Gase dient das Manometer. Man unterscheidet offene und geschlossene Manometer. Beide sind U-förmig gebogene Röhren, in denen sich Quecksilber (oder auch eine andere Flüssigkeit) befindet. Ihr einer Schenkel steht in Verbindung mit dem Gefäss, in dem sich das Gas befindet, dessen Spannkraft gemessen werden soll. Der andere Schenkel ist beim offenen Manometer offen, beim geschlossenen geschlossen und (in den meisten Fällen) mit Luft gefüllt. Die Gas-Spannung ist dann aus dem Unterschied der Quecksilberhöhen in beiden Schenkeln, vermehrt entweder um den Atmosphärendruck oder um die im umgekehrten Verhältniss zum Volum stehende Spannkraft der abgeschlossenen Luft, ersichtlich.

Bei den Zeigermanometern drückt das Gas gegen die Mitte einer elastischen Platte, deren Bewegungen durch Vermittlung von Hebeln und Rädern auf einen Zeiger übertragen werden. Diese Art von Manometern kommt bei grossen Drucken zur Verwendung.

Volumenometer. Zur Bestimmung des Volums — und damit auch des specifischen Gewichts (vgl. S. 60 u. f.) — pulverförmiger Körper wird das Volumenometer (oder Stereometer, Fig. 51) benutzt. Dasselbe besteht aus einem Glasgefäss (*G*), das nach unten in eine mit Volum-Eintheilung versehene Röhre ausläuft. Der obere

Rand des Gefässes ist abgeschliffen und lässt sich durch eine Glasplatte luftdicht verschliessen.

Die Benutzung erfolgt in der Weise, dass, während das Gefäss G offen ist, die Röhre bis zum Nullpunkt der Theilung (O) in ein mit Quecksilber gefülltes Glas eingetaucht wird, dann das Gefäss durch die Glasplatte verschlossen und der Apparat bis zu einer bestimmten Höhe emporgezogen wird. Dabei tritt Luft aus G in die Röhre, die Luft wird verdünnt und verliert an Spannkraft; die Folge ist, dass die äussere Luft das Quecksilber in der Röhre emportreibt. Die Volumzunahme der Luft (von O bis zum Quecksilberspiegel in der Röhre) wird abgelesen. Aus diesem Versuch kann das Volum des Gefässes G bis zum Theilstrich O berechnet werden. Man bezeichne es mit v_1 , die Volumzunahme mit v_2 , die Höhe des Quecksilbers in der Röhre über dem äusseren Quecksilber-

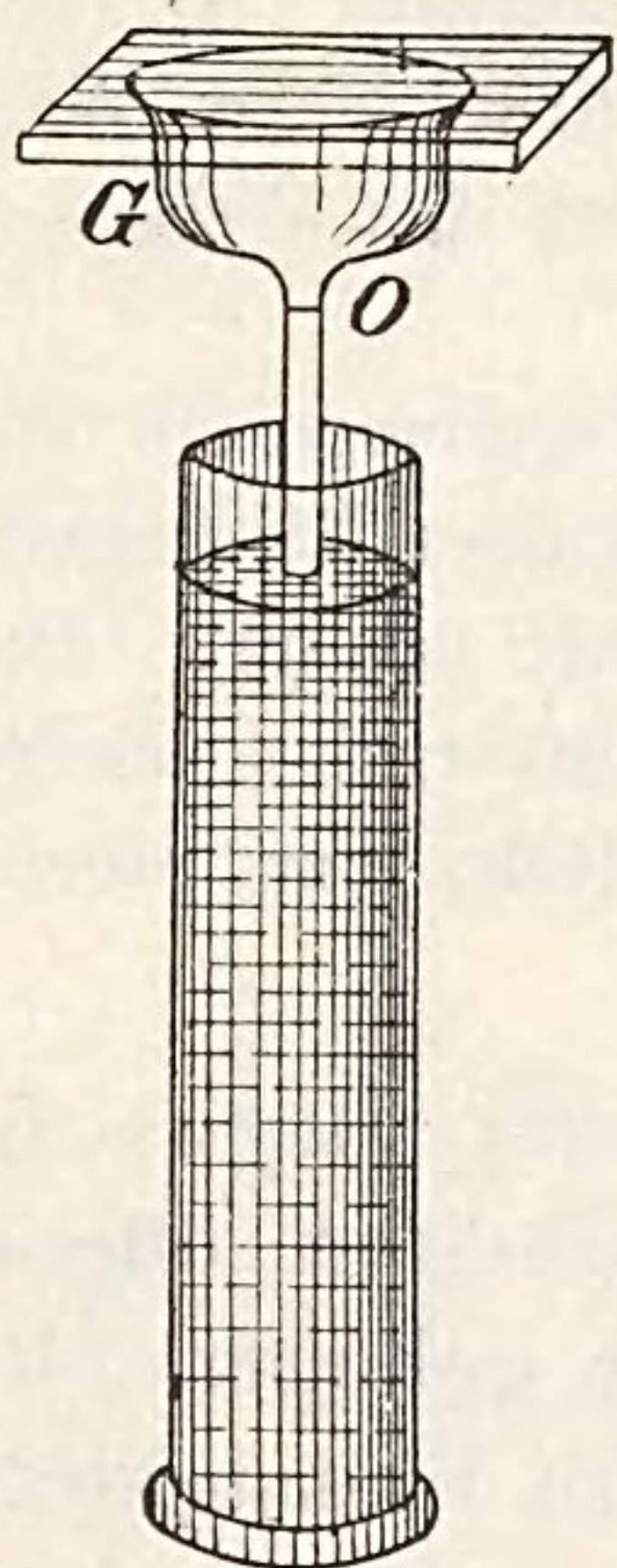


Fig 51. Volumenometer.

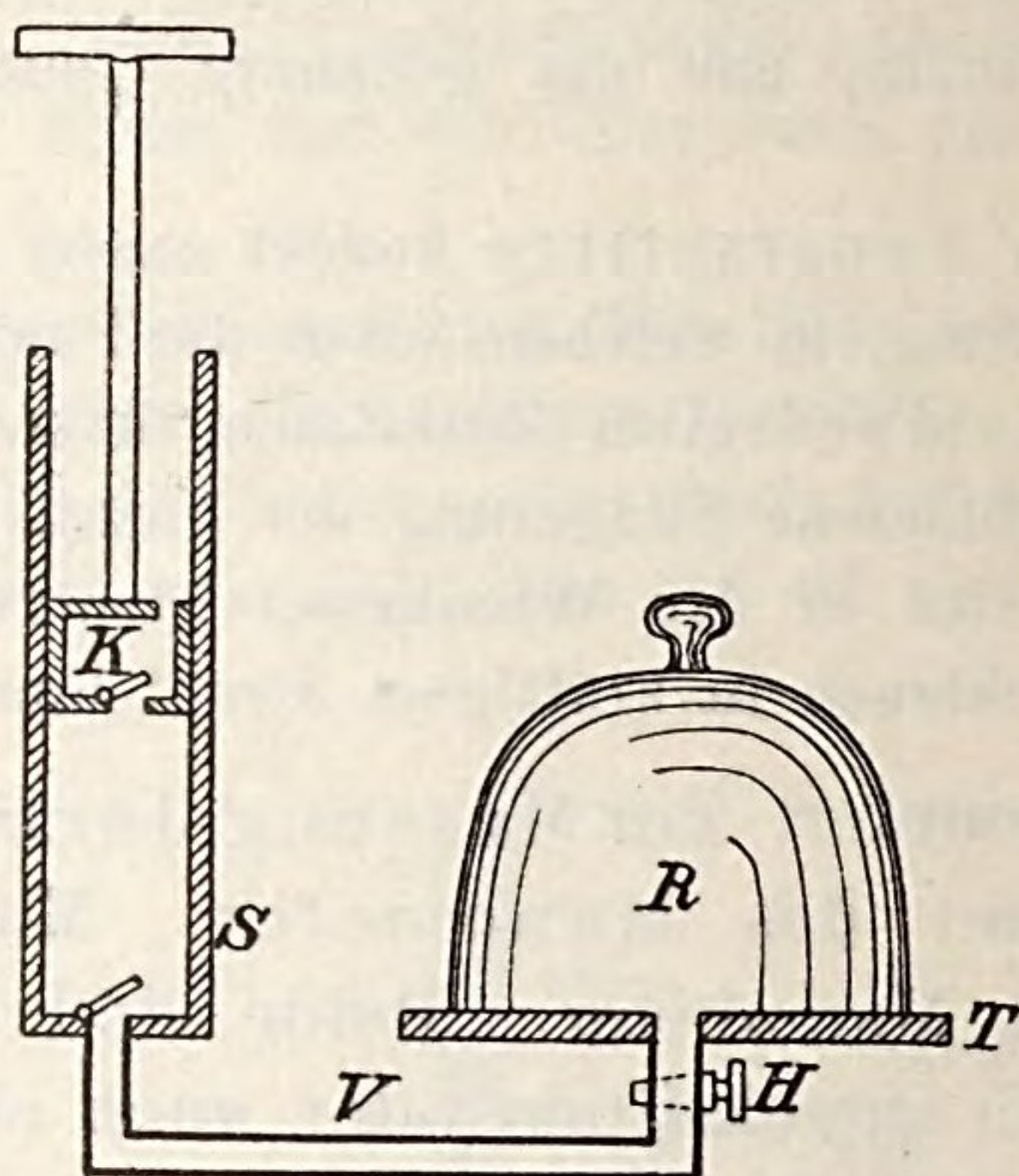


Fig. 52. Einstieflige Ventil-Luftpumpe.

spiegel mit q und den herrschenden Barometerstand mit B ; dann ist nach dem Mariotte-Boyle'schen Gesetz (S. 71):

$$\frac{v_1}{v_1 + v_2} = \frac{B - q}{B}, \text{ woraus sich ergibt: } v_1 = \frac{v_2 (B - q)}{q}$$

Nun wird der ganze Versuch wiederholt, nachdem man den pulverförmigen Körper, dessen Volum x bestimmt werden soll, in das Gefäss G gebracht hat. Der Apparat werde wieder so weit emporgehoben, bis die Luft in G um das Volum v_2 zugenommen hat; die Quecksilbersäule in der Röhre sei q' . Dann gilt:

$$\frac{v_1 - x}{(v_1 - x) + v_2} = \frac{B - q'}{B}, \text{ woraus sich ergibt: } v_1 - x = \frac{v_2 (B - q')}{q'}, \text{ also:}$$

$$x = v_1 - \frac{v_2 (B - q')}{q'}.$$

Hat man somit das Volum des pulverförmigen Körpers, so erhält man sein specifisches Gewicht, indem man ihn wägt und sein absolutes Gewicht durch das Volum dividirt (da das specifische Gewicht ja das Gewicht der Volumeinheit ist — S. 59).

Luftpumpe. Von grosser Bedeutung für mancherlei Zwecke ist die 1650 von Otto v. Guericke erfundene Luftpumpe. Sie dient dazu, die Luft in einem abgesperrten Raume zu verdünnen. Einen Raum vollständig luftleer zu machen, ist nicht möglich.

Wir betrachten die Ventilluftpumpe, die Hahnluftpumpe, die Quecksilberluftpumpe und die Wasserluftpumpe.

Die Ventilluftpumpe (Fig. 52) besteht aus dem Stiefel (*S*): einem metallenen Cylinder, in welchem sich ein durchbohrter Kolben (*K*) luftdicht auf- und abbewegt, dem Teller (*T*), dem darauf stehenden Recipienten (oder der Luftpumpenglocke, *R*) und dem Verbindungsrohr (*V*), welches den Stiefel mit dem Recipienten verbindet. Sowohl im Kolben wie am Boden des Stiefels ist je ein sich nach oben öffnendes Ventil angebracht. (Kolbenventil und Bodenventil.)

Wird der Kolben vom Boden des Stiefels aus emporgezogen, so entsteht unter ihm ein luftleerer (bezw. luftverdünnter) Raum, und die Luft des Recipienten drückt das Bodenventil in die Höhe und strömt in den Stiefel hinein, wobei sie auf einen grösseren Raum vertheilt und daher verdünnt wird; das Kolbenventil bleibt wegen des Drucks der atmosphärischen Luft geschlossen. Wird dann der Kolben abwärts bewegt, so wird die unter ihm befindliche Luft zusammengepresst, schliesst das Bodenventil, öffnet dagegen das Kolbenventil und strömt durch den Kolben hindurch nach aussen. Zieht man den Kolben wieder empor und so fort, so wird abermals der Recipient eines Theils seiner Luft beraubt, und die zurückbleibende Luft wird fortgesetzt verdünnt, bis sie so wenig Spannkraft besitzt, dass sie die Ventile nicht mehr zu öffnen vermag. Der Hahn *H* gestattet durch eine geeignete Durchbohrung, wieder Luft von aussen in den Recipienten einströmen zu lassen.

Bei der Hahnluftpumpe ist der Kolben massiv, und die Ventile sind in ihrer Wirksamkeit durch einen unterhalb des Stiefels befindlichen Hahn (den sog. Vierwegehahn) ersetzt, welcher in der Weise doppelt durchbohrt ist, dass er beim Aufziehen des Kolbens den Stiefel mit dem Recipienten in Verbindung setzt, beim Niederdrücken des Kolbens aber den Stiefel mit der Atmosphäre verbindet, so dass die in den Stiefel (vom Recipienten aus) eingedrungene Luft nach aussen gepresst wird.

Bei der zweistiefligen (doppelt wirkenden) Hahnluftpumpe findet der Grassmann'sche Hahn Verwendung. Derselbe hat drei Durchbohrungen: Die eine führt von der einen Seite nach hinten zum Verbindungsrohr *V* (Fig. 53a und b), die andere von der entgegengesetzten Seite nach vorn zur atmosphärischen Luft; die dritte Durchbohrung verläuft in gerader Richtung zwischen

den beiden ersten und senkrecht zu ihnen. Liegt der Hahn so, wie Fig. 53a zeigt, wo der als Griff dienende Hebel H sich links befindet, so steht der Recipient (durch V) mit dem linken Stiefel (L) in Verbindung, zugleich der rechte Stiefel (R) mit der Atmosphäre. In L geht der Kolben in die Höhe, in R bewegt er sich abwärts. Wird der Hahn um 180° herumgedreht, so ist die Verbindung der Stiefel mit dem Recipienten und der Atmosphäre (wie Fig. 53b zeigt) die umgekehrte, und die Kolben bewegen sich entgegengesetzt. Hört man mit dem Auspumpen der Luft auf, so stellt man den Hahn so, dass der Hebel senkrecht steht; dann ist der Recipient verschlossen, und die beiden Recipienten stehen durch die dritte Durchbohrung mit einander in Verbindung.

Bei der zweistiefligen Hahnluftpumpe wird — abgesehen davon, dass sie doppelt so schnell wirkt als die einstieflige — noch ein besonderer Uebelstand vermieden, der sich bei dieser findet und darin besteht, dass nach dem Niederdrücken des Kolbens die Bohrung des Hahnes jedesmal mit atmosphärischer Luft gefüllt bleibt, welche sich, wenn der Hahn gedreht und der Kolben wieder emporgezogen wird, im Stiefel ausbreitet. Der mit Luft gefüllte Raum heisst der schädliche Raum.

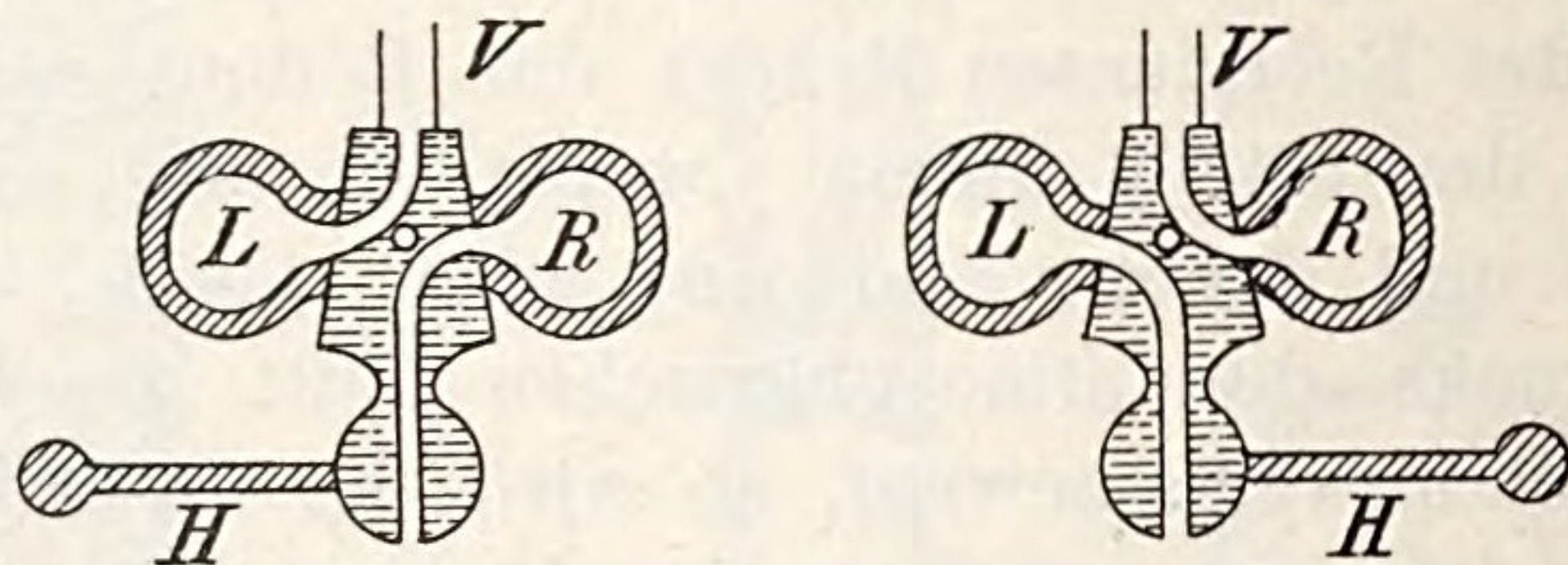


Fig. 53a und b. Grassmann'scher Hahn.

Bei den zweistiefligen Luftpumpen werden die Kolben mittels einer Doppelkurbel oder eines Schwungrades auf und niederbewegt.

Damit der Recipient luftdicht gegen den Teller abschliesst, wird sein Rand, der ebenso wie der Teller geschliffen ist, vor dem Gebrauch mit Talg bestrichen.

Zur Feststellung der bei einem Luftpumpenversuche eingetretenen Verdünnung der Luft dient ein an dem Verbindungsrohr angebrachtes Barometer.

Die (Geissler'sche) Quecksilberluftpumpe wirkt am vollkommensten von allen Luftpumpen, weil hier der Kolben durch eine Quecksilbersäule ersetzt ist; da man nämlich das Quecksilber durch den Vierwegehahn hindurch treten lassen kann, ist die Bildung eines schädlichen Raums unmöglich. Die Luftverdünnung wird auf folgende Weise bewirkt: Man sperrt den Recipienten durch Quecksilber ab, das sich in einem Gefäss befindet, welches durch einen Gummischlauch mit einem zweiten, auf- und abzubewegenden Gefäss communicirt; dieses zweite Gefäss wird dann so weit gesenkt, dass im ersten ein Vacuum entsteht, in welches man Luft aus dem Recipienten eintreten lässt.

Die (Bunsen'sche) Wasserluftpumpe (Fig. 54) wird in chemischen Laboratorien vielfach zu beschleunigten Filtrationen verwendet. Sie besteht aus einem weiten Glasrohr (*A*), das oben verschlossen ist und seitlich ein Ansatzrohr (*B*) besitzt, durch welches ein Wasserstrom (am besten von einer Wasserleitung) in ersteres eintritt und nach unten abfließt. Durch den Verschluss des Rohres *A* geht in dieses hinein ein enges Glasrohr (*C*), das unterhalb des Ansatzrohrs mit einer Oeffnung endigt, während sein oberes, gleichfalls offenes Ende mit einer Flasche (*D*) in Verbindung steht, in die hinein filtrirt wird. In den Kork oder Gummistöpsel dieser Flasche ist ein Trichter luftdicht eingesetzt. Fließt nun von *B* her Wasser durch das Rohr *A*, so reisst es die darin befindliche Luft mit und übt in Folge dessen auf das Rohr *C* und damit

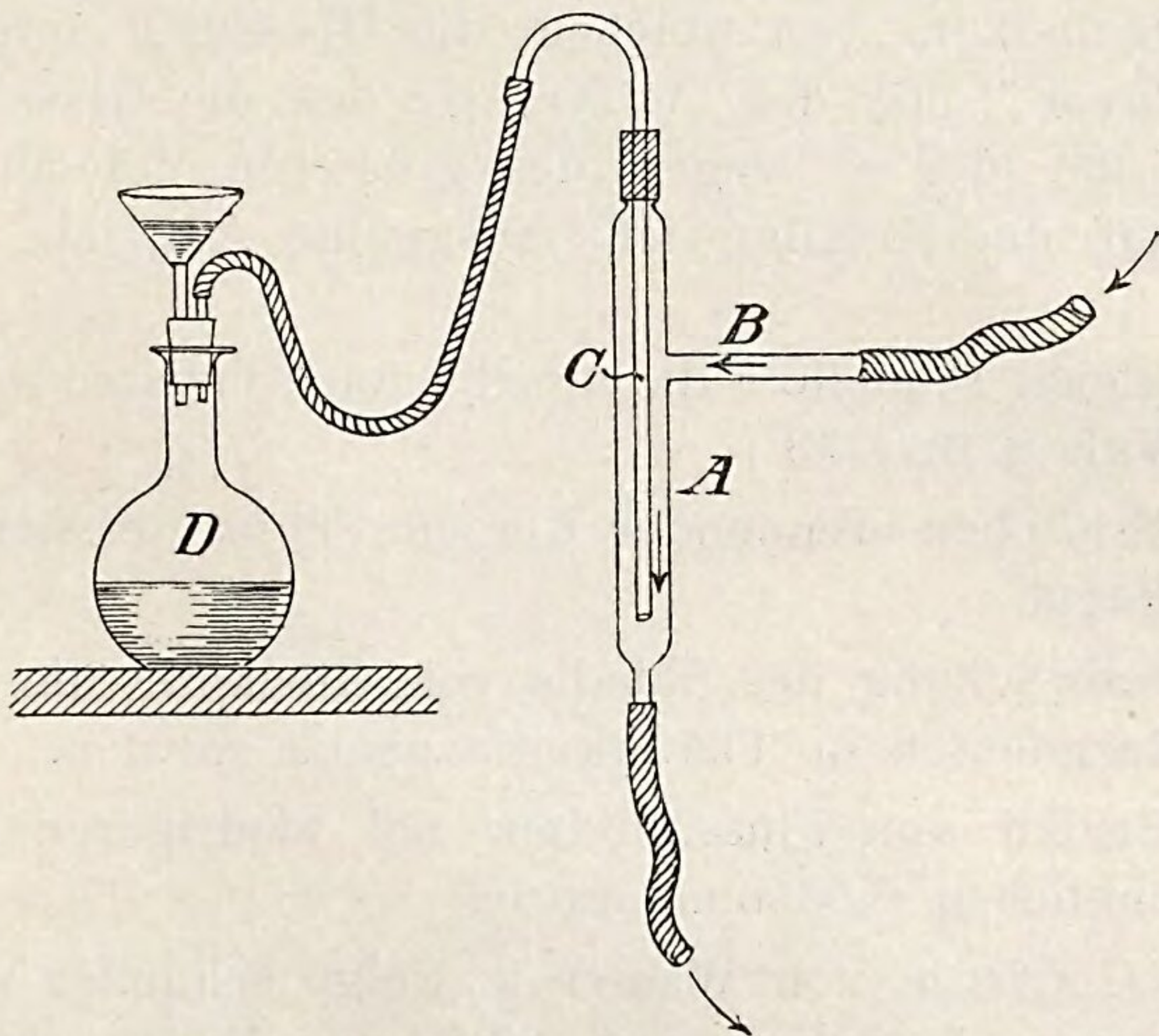


Fig. 54. Wasser-Luftpumpe.

auch auf die Flasche eine Saugwirkung aus; die Luft in der Flasche wird verdünnt, und die Flüssigkeit im Trichter wird durch den Atmosphärendruck schneller in die Flasche hineingetrieben.

Luftpumpen-Versuche. Mit der Luftpumpe können folgende Hauptversuche angestellt werden:

1. Das Zersprengen einer Glasplatte, die einen luftleer gepumpten Cylinder nach aussen verschliesst, durch den atmosphärischen Luftdruck; das Hindurchpressen von Quecksilber durch Buchsbaumholz (Quecksilberregen).

2. Die Magdeburger Halbkugeln. Eine aus zwei genau auf einander passenden Halbkugeln zusammengesetzte Hohlkugel wird luftleer gepumpt. Zur Trennung der durch den äusseren Luftdruck zusammengepressten Halbkugeln ist eine ausserordentlich grosse Kraft erforderlich.

3. Das Anschwellen einer schlaff zugebundenen und daher wenig Luft enthaltenden Blase unter dem Recipienten. (Vgl. S. 70.)

4. Das Entweichen absorbirter Gase: Luftbläschen aus Wasser, Kohlensäure aus Selterwasser und Bier.

5. Nachweis des Archimedischen Principis (S. 58) für Luft. Ein kleiner Wagebalken trägt auf der einen Seite eine Hohlkugel aus Glas, auf der andern Seite ein Metallgewicht von kleinerem Volum als jene, von solcher Schwere, dass im luftgefüllten Raum Gleichgewicht herrscht. Wird der Apparat unter den Recipienten gebracht und die Luft aus demselben ausgepumpt, so sinkt der Arm des Wagebalkens, an welchem die Glaskugel aufgehängt ist: eine Folge davon, dass der Auftrieb, den die Glaskugel in der Luft erfuhr und der — wegen des grösseren Volums — grösser ist als der auf das Metallgewicht ausgeübte Auftrieb, in Fortfall kommt.

6. Der gleich schnelle Fall verschieden schwerer Körper in der Fallröhre. (Vgl. S. 32—33.)

7. Das Erlöschen brennender Kerzen; Thiere ersticken im luftverdünnten Raum.

8. Die Schwächung des Schalls von Glocken, die im luftleer gepumpten Recipienten in Thätigkeit versetzt werden.

9. Das Sieden von Flüssigkeiten bei niedrigerer Temperatur als der gewöhnlichen Siedetemperatur.

10. Das Gefrieren von Wasser in Folge schneller Verdunstung und andauernder Absorption der gebildeten Wasserdämpfe durch concentrirte Schwefelsäure. —

Bei der Rohrpost wird — neben komprimirter Luft — die mittels einer Luftpumpe verdünnte Luft zur Beförderung von Briefen verwendet; die Briefe befinden sich in kleinen Wagen, die in langen Röhren von Station zu Station geblasen bzw. gesogen werden.

Kompressionspumpe. Die Kompressionspumpe ist eine umgekehrt wirkende Luftpumpe. Ist sie mit Ventilen versehen, so haben diese die entgegengesetzte Richtung wie bei der Ventilluftpumpe. Ist sie mit Hahn versehen, so wird dieser bei jedem Kolbenstosse entgegengesetzt gestellt wie bei der Hahlluftpumpe.

Sie wird vor allem zur Kompression und Verflüssigung von Kohlensäuregas benutzt.

8. Stoss elastischer Körper und Wellenbewegung.

Stoss elastischer Körper. Wenn eine elastische Kugel in senkrechter Richtung gegen eine feste Wand gerollt wird, so kehrt sie mit gleicher Geschwindigkeit in der gleichen (senkrechten) Richtung, nur im entgegengesetzten Sinne, zurück.

Wird die Kugel unter einem gewissen spitzen Winkel gegen die Wand gerollt, so bewegt sie sich wiederum mit gleicher Geschwindigkeit und unter dem gleichen Winkel, aber nach der andern Seite, von der Senkrechten zur Wand aus gerechnet, zurück. — Den Winkel, den die Bewegungsrichtung der heranrollenden Kugel mit der Senkrechten zur Wand — dem Einfallslothe — bildet (Fig. 55, *a*), nennt man (in Anlehnung an eine Bezeichnung in der Lehre vom Licht) den Einfallswinkel; den Winkel, den die zurückrollende Kugel mit der Senkrechten bildet (Fig. 55, *b*), den Ausfallswinkel. — Einfalls- und Ausfallswinkel sind einander gleich.

Wird eine elastische Kugel mit einer gewissen Geschwindigkeit gegen eine andere, ihr völlig gleiche, ruhende gerollt, (so dass die Stossrichtung mit der Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Kugeln zusammenfällt — centraler Stoss), so bleibt die erste Kugel stehen, und die zweite bewegt sich in derselben Richtung wie jene und mit der gleichen Geschwindigkeit fort. — Werden zwei gleiche elastische Kugeln mit gleicher Geschwindigkeit central gegen einander gerollt, so prallen sie von einander

ab und bewegen sich mit derselben Geschwindigkeit im entgegengesetzten Sinne zurück. — Ist im letzteren Falle die Geschwindigkeit beider Kugeln verschieden gross, so tauschen beide ihre Geschwindigkeiten mit einander aus.

Es lässt sich hiernach sagen, dass stets, wenn eine elastische Kugel in centralem Stoss auf eine andere, ihr gleiche trifft, ihr Bewegungszustand sich auf diese überträgt, und umgekehrt, dass sie den Bewegungszustand der letzteren aufnimmt.

Trifft eine elastische Kugel in centralem Stosse auf eine Reihe geradlinig hinter einander liegender, ihr gleicher elastischer Kugeln, so geht ihre Bewegung nach Richtung und Geschwindigkeit durch die ganze Reihe hindurch und wird auf die letzte, freiliegende Kugel übertragen und von dieser weiter fortgesetzt.

Wellenbewegung. Wenn das Gleichgewicht einer ruhenden Wasserfläche, z. B. durch das Hineinwerfen eines Steines, gestört wird, so entstehen kreisförmige Wellen, die sich von einem Mittelpunkte aus (der Stelle, wo der Stein ins Wasser fiel) nach allen Richtungen mit gleichförmiger Geschwindigkeit verbreiten. Jede Welle besteht aus einem Wellenberg und einem Wellenthal.

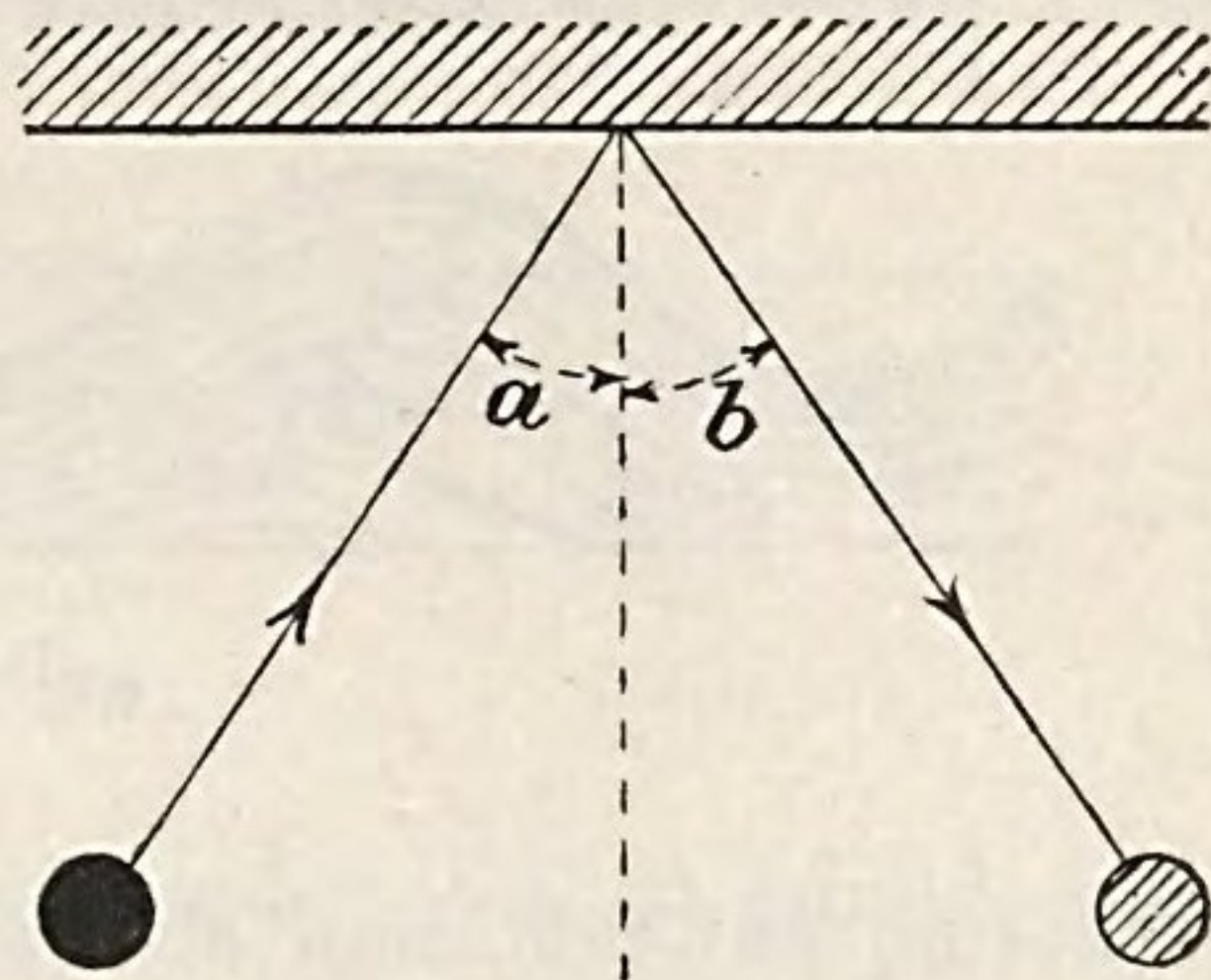


Fig. 55. Stoss einer elastischen Kugel gegen eine feste Wand.

An der nach aussen fortschreitenden Bewegung der Wellen nehmen die einzelnen Wassertheilchen nicht Theil, was man daran erkennt, dass Holzstückchen, die man auf das Wasser wirft, nicht mit fortschwimmen, sondern nur abwechselnd gehoben werden und sich senken.

Diejenigen Bewegungen, welche die einzelnen Wassertheilchen ausführen und durch deren Zusammenwirken die Wellen zu Stande kommen, erfolgen in bestimmten Kurven, die in lothrechten Ebenen liegen, wie dies Fig. 56 bei *A*, *B* und *C* zeigt. Nach unten zu werden die Kurven flacher, und die tiefsten sich bewegend Theilchen schwingen geradlinig hin und her. (Fig. 56, *B*.)

Der Grund, weswegen bei einer Erschütterung einer Wasserfläche Wellen entstehen, ist der, dass die Wasserfläche an einer bestimmten Stelle einen Stoss (durch Steinwurf oder Ruderschlag) oder Druck (durch den Wind) erleidet, der die an dieser Stelle befindlichen Wassertheilchen hinabdrückt und so ein Wellenthal erzeugt; da er sich aber nach allen Seiten ausbreitet, so werden die umliegenden Wassertheilchen nach oben gedrängt, und es entsteht rings um das Wellenthal ein Wellenberg. Fallen die Wassertheilchen desselben nun, der Schwere folgend, herab, so gehen sie — nach Maassgabe des Beharrungsgesetzes — noch unter den Wasserspiegel hinunter und bilden so ein Wellenthal. Um

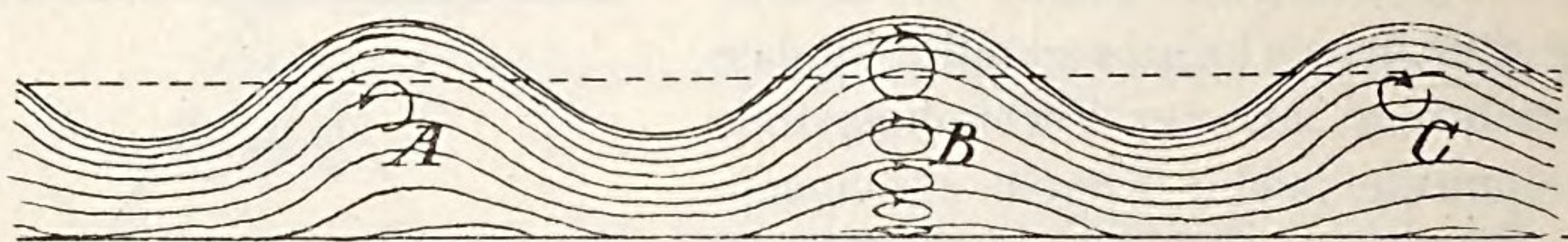


Fig. 56. Wellenbewegung.

dieses herum entsteht nun abermals ein Wellenberg u. s. f. Da die Wellen nach aussen hin immer grösser (umfangreicher) werden, so nimmt ihre Höhe ab. Da der ursprüngliche Stoss oder Druck aber nicht nur nach unten und oben, sondern auch seitwärts wirkt, so führen die Wassertheilchen auch seitliche Bewegungen aus, die sich mit denen in lothrechter Richtung zu krummlinigen Bewegungen vereinigen.

Bei in elastischen Körpern stattfindenden Wellenbewegungen ist statt der Schwere die Elasticität wirksam.

Die Breite eines Wellenberges und eines Wellenthales zusammengenommen oder, was dasselbe ist, die Strecke, um welche sich die Schwingungsbewegung fortpflanzt, während ein Wassertheilchen eine Schwingung vollendet, wird Wellenlänge genannt. Der Abstand der grössten Höhe eines schwingenden Wassertheilchens von der grössten Tiefe heisst Schwingungsweite oder Oscillations-Amplitude. Als Fortpflanzungsgeschwindigkeit wird die Geschwindigkeit bezeichnet, mit welcher sich die Schwingung eines Theilchens auf die der Reihe nach folgenden fortpflanzt. Die Geschwindigkeit der Bewegung der einzelnen Theilchen heisst die Oscillationsgeschwindigkeit; dieselbe ist umgekehrt proportional der Schwingungsdauer (der Zeitdauer einer Schwingung). Ebenfalls umgekehrt proportional der Schwingungsdauer (also direkt proportional der Oscillationsgeschwindigkeit) ist die Schwingungszahl, die Anzahl der Schwingungen in einer Zeiteinheit.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist gleich dem Produkt aus der Wellenlänge und der Schwingungszahl. Denn wenn ein schwingendes Theilchen in 1 Zeiteinheit n Schwingungen vollführt, so hat sich in dieser Zeit die Wellenbewegung auf n hinter einander liegende benachbarte Theilchen übertragen, d. h. ist um n Wellenlängen weiter fortgeschritten. Der Weg aber, um den sie in 1 Zeiteinheit vorgerückt ist, wird andererseits als Fortpflanzungsgeschwindigkeit bezeichnet.

Stehende Wellen. Die Wasserwellen, wie wir sie beschrieben haben, gehören zu den fortschreitenden Wellen. Von diesen sind die stehenden Wellen zu unterscheiden. Dieselben lassen sich erzeugen, wenn man ein gespanntes Seil, dessen eines Ende befestigt ist, an dem andern Ende fortgesetzt gleichmässig auf- und niederschwingt. Dann bildet sich bei jeder Bewegung eine Welle, welche auf dem Seile fortschreitet, während ihr eine andere folgt, so dass das ganze Seil nach und nach in eine schlängelnde Bewegung geräth. Gewisse Punkte des Seiles bleiben hierbei in Ruhe — sie heissen Schwingungsknoten (Fig. 57, K) —, während die dazwischen liegenden Abschnitte des Seiles — die Schwingungsbäuche — in der Reihe, wie sie auf einander folgen, entgegengesetzte Schwingungszustände zeigen (in entgegengesetzter Richtung ausschlagen).

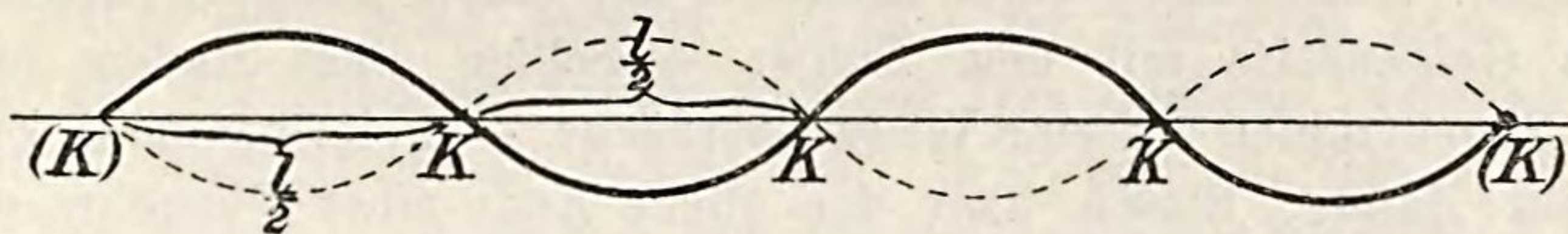


Fig. 57. Stehende Wellen.

Die Schwingungsdauer und Wellenlänge stehender Wellen stimmt mit derjenigen der fortschreitenden Welle, aus der sie hervorgegangen sind, überein. Die Entfernung je zweier benachbarter Schwingungsknoten beträgt eine halbe Wellenlänge. $\left(\text{Fig. 57, } \frac{l}{2} \cdot \right)$

Schwingungs-Arten. Die Schwingungen, in welche elastische Körper versetzt werden können, sind — je nach der Schwingungsrichtung — von dreierlei Art: Longitudinalschwingungen, Transversalschwingungen, Torsionsschwingungen. Longitudinalschwingungen führt ein elastischer Körper aus, wenn die Schwingungsrichtung seiner Theile mit seiner Längsrichtung übereinstimmt (Beispiele: siehe im folgenden Abschnitt, S. 88 und 91); transversal schwingt der Körper, wenn die Schwingungsrichtung zu seiner Längsrichtung senkrecht verläuft (Beispiele: die Seilwellen und S. 91); und von Torsionsschwingungen spricht man, wenn die Theile des Körpers drehende Bewegungen um seine Längsachse ausführen. — Alle drei Arten von Schwingungen können sowohl in Form von fortschreitenden wie von stehenden Wellen auftreten.

Interferenz und Beugung. Durchkreuzen sich zwei gleichartige Wellensysteme, so entsteht, wo zwei Wellenberge zusammentreffen, ein Berg von doppelter Höhe; wo zwei Wellenthäler zusammentreffen, ein Thal von doppelter Tiefe; wo ein Wellenberg des einen Systems mit einem Wellenthal des andern zusammentrifft, heben beide einander auf, und das ursprüngliche Gleichgewicht

wird nicht gestört (auf einer Wasserfläche bildet sich eine ruhende, ebene Fläche). Dies Ergebniss wird mit dem Namen der Interferenz der Wellensysteme bezeichnet.

Trifft ein Wellensystem auf eine feste Wand, so wird es — gleich einem elastischen Körper — zurückgeworfen oder reflektirt, und das ursprüngliche und das reflektirte Wellensystem interferiren mit einander.

Befindet sich eine Oeffnung in der Wand, so geht der mittlere Theil der Welle ungehindert hindurch; an den Seiten der Oeffnung aber entsteht eine Stauung und beim Abfluss derselben nach aussen treten zwei neue Wellensysteme auf. Diese Verbreiterung des Wellensystems heisst *Beugung*.

9. Die Lehre vom Schall.

(Akustik.)

Entstehung und Natur des Schalls. Ein Schall entsteht durch die Erschütterung eines Körpers.

Beispiele: Aufschlagen eines Hammers auf einen Amboss; Anreissen einer gespannten Geigensaite mit dem Finger. — Schlag eines Ruders in Wasser; Fallen der Regentropfen auf eine Wasseroberfläche. — Peitschenknall, Zusammenschlagen der Hände; Blasen über das offene Ende einer Glasröhre oder eines Hohlschlüssels.

Durch die Bewegungen eines schallenden Körpers werden Wellenbewegungen in der Luft erzeugt: die Schallwellen, welche nach allen Seiten fortschreiten und in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft bestehen. Sie sind Longitudonalwellen. Die Luftverdichtungen entsprechen den Wellenbergen, die Luftverdünnungen den Wellenthälern bei der Wasserbewegung. Der Schall wird aber nicht nur durch die Luft und luftförmige Körper, sondern auch durch flüssige und feste Körper geleitet, und zwar am besten durch elastische und durchweg gleichartige feste Körper.

Poröse Körper dämpfen den Schall und zwar vor allem deshalb, weil sie nicht durchweg gleichartig sind. Ein luftleerer Raum leitet den Schall nicht.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls beträgt in der Luft bei 0° Wärme rund 333 m in der Sekunde. Mit steigender Temperatur nimmt die Geschwindigkeit zu.

Die Stärke oder Intensität des Schalls nimmt mit zunehmender Entfernung von dem Orte der Entstehung ab und zwar im quadratischen Verhältniss der Entfernung, so dass z. B. ein Schall in doppelter Entfernung nur noch in Viertelstärke vernommen wird.

Dies kommt daher, dass der Schall sich von dem Orte seiner Entstehung aus nach allen Seiten, also kugelförmig ausbreitet. Da die Oberfläche einer Kugel mit dem Radius r aber $4r^2\pi$ ist, also dem Quadrate des Radius proportional ist, so hat eine Kugel mit n mal so grossem Radius eine n^2 mal so grosse Oberfläche, und der gleiche Schall muss, wenn er sich auf diese Oberfläche vertheilt, an jedem Punkte nur $\frac{1}{n^2}$ so stark sein als an jedem Punkte der Kugel mit dem Radius r . Die Schallstärke ist also umgekehrt proportional dem Quadrate des Radius der Ausbreitung oder dem Quadrate der Entfernung.

Reflexion der Schallwellen. Treffen die Schallwellen auf die Oberfläche eines festen oder flüssigen Körpers, so werden sie reflektirt. Durch diese Reflexion entsteht entweder eine blosse Verstärkung des Schalls oder ein Nachhall oder ein Wiederhall (oder Echo).

Der Wiederhall — die von dem ursprünglichen Schall deutlich getrennte Wiederholung desselben — tritt dann auf, wenn die reflektirende Wand, gegen die man ruft, singt u. dergl., mindestens 19 m entfernt ist. Da nämlich das menschliche Ohr in 1 Sekunde etwa 8 bis 10 oder sagen wir: 9 Silben zu unterscheiden im Stande ist, so gehört zur Wahrnehmung einer Silbe $\frac{1}{9}$ Sekunde Zeit. Hat man daher eine Silbe gerufen, so darf sie frühestens nach Verlauf von $\frac{1}{9}$ Sekunde als Wiederholung wieder an unser Ohr gelangen, wenn sie gesondert von der ersten wahrgenommen werden soll. In $\frac{1}{9}$ Sekunde legt aber der Schall $333 : 9 = 37$ m zurück. Da er sich nun zur reflektirenden Wand hin und wieder zurück bewegt, muss diese mindestens $\frac{37}{2} = 18\frac{1}{2}$ oder 19 m entfernt sein, damit er nicht zu früh zu unserm Ohre zurückgelangt.

Ist die reflektirende Wand weniger als 19 m weit entfernt, so fällt der zurückgeworfene Schall mit dem ursprünglichen theilweise zusammen, und es entsteht der Nachhall. Dies geschieht z. B. in Kirchen und grossen Sälen, besonders wenn sie leer sind. Personen oder Möbel, die sich in einem Raum befinden, desgl. Säulen, Vorsprünge, Bilder, Fahnen u. s. w. nehmen dem Nachhall die Regelmässigkeit und heben dadurch die störende Wirkung auf.

In kleineren Räumen (Zimmern u. s. w.) wird der zurückgeworfene Schall mit dem ursprünglichen zugleich gehört, und es findet nur eine Verstärkung des letzteren statt.

Auf der Zurückwerfung des Schalls (im Innern der Apparate) beruht die Einrichtung des in die Wände eines Hauses eingemauerten Kommunikations- oder Schallrohrs, des Sprachrohrs und des Hörrohrs.

Ton und Geräusch. Wenn mehrere einfache Schalle schnell auf einander folgen, so stellen sie sich dem Ohr als etwas Zusammenhängendes dar: sie bilden einen zusammengesetzten Schall. Sind die Bestandtheile eines solchen von gleicher Beschaffenheit und folgen sie schnell und in gleichen Zwischenräumen auf einander, so bilden sie einen Ton und sind von der Art der

Schwingungen. Ein unregelmässig zusammengesetzter Schall heisst ein Geräusch. (Knarren, Rasseln, Plätschern, Rauschen u. s. w.)

An einem Ton unterscheidet man Höhe, Stärke und Klangfarbe.

Tonhöhe. Je grösser die Schwingungszahl eines Tones ist, desto höher ist er. Dies kann an einer Sirene, einem in schnelle Umdrehung zu versetzenden Zahnrade, gegen dessen Zähne man ein elastisches Kartenblättchen oder dergleichen hält, ermittelt werden. Je schneller man dreht oder je mehr Zähne das Zahnrad hat, desto höher ist der Ton, den es giebt. Die Wellenlänge höherer Töne ist kleiner als diejenige tieferer Töne.

Die Schwingungszahl des tiefsten hörbaren Tones (in der Sekunde) ist 7, die des höchsten hörbaren Tones 24 000. Der tiefste in der Musik gebräuchliche Ton (das Subcontra-C) hat zur Schwingungszahl 16 (Wellenlänge 20 m), der höchste musikalische Ton (das 5 mal gestrichene c) hat zur Schwingungszahl 4096. Der sogenannte Kammerton a' hat die Schwingungszahl 440. (Die Schwingungen, von denen hier die Rede ist, entsprechen — mit den Pendelschwingungen, S. 52, verglichen — je einer Doppelschwingung; in Frankreich giebt man in den Schwingungszahlen die Anzahlen der einfachen Schwingungen an.)

Hat ein Ton die doppelte Schwingungszahl eines anderen, so bildet er die Oktave des letzteren. Das musikalische Intervall (Tonschritt) Prime/Oktave steht also in dem Verhältniss der Schwingungszahlen 1:2. Die übrigen musikalischen Intervalle weisen folgende Verhältnisse auf:

$$\begin{aligned} \text{Prime/Sekunde} &= 1 : \frac{9}{8}; & \text{Prime/Terz} &= 1 : \frac{5}{4}; & \text{Prime/Quarte} &= 1 : \frac{4}{3}; \\ \text{Prime/Quinte} &= 1 : \frac{3}{2}; & \text{Prime/Sexte} &= 1 : \frac{5}{3}; & \text{Prime/Septime} &= 1 : \frac{15}{8}. \end{aligned}$$

Die Verhältnisse der Schwingungszahlen (die physikalischen Intervalle) zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Tönen sind hiernach:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	

d. h.: Es ist die Schwingungszahl der Sekunde $\frac{9}{8}$ mal so gross als die der Prime, die Schwingungszahl der Terz $\frac{10}{9}$ mal so gross als die der Sekunde u. s. w.

Die Intervalle $\frac{9}{8}$ und $\frac{10}{9}$ sind einander ziemlich gleich, das Intervall $\frac{16}{15}$ dagegen ist beträchtlich kleiner; man bezeichnet es daher als einen halben Ton (bezw. ein halbes Tonintervall), während jene als ganze Töne gelten.

Obige Zusammenstellung von acht Tönen, Tonleiter genannt, besteht daher aus zwei Hälften, deren jede zwei ganze und einen halben Ton umfasst, während beide von einander durch einen ganzen Ton getrennt sind:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	1	$\frac{1}{2}$		1	1	$\frac{1}{2}$	

Sie heisst diatonische Tonleiter.

Die chromatische Tonleiter enthält zwischen den ganzen Tönen noch halbe, so dass sie durchweg nach halben Tönen fortschreitet. (Dur und Moll; musikalische Temperatur.)

Musik-Instrumente. Zur Hervorbringung musikalischer Töne dienen:
1. die Saiteninstrumente (Geige, Guitarre, Zither, Harfe, Klavier u. s. w.). Bei ihnen wird der Ton durch Transversalschwingungen der theils angestrichenen, theils angerissenen, theils angeschlagenen Saiten erzeugt. Die Höhe des Tones ist abhängig von der Länge, Dicke und Spannung der Saiten: Die Tonhöhen — und damit die Schwingungszahlen — verhalten sich (bei gleichbleibender Dicke und Spannung) umgekehrt wie die Saitenlängen. Je dünner und je stärker gespannt eine Saite ist, desto höher ist der Ton, den sie giebt.

2. Die Scheiben- oder Flächeninstrumente (Becken, Glocke, Trommel, Pauke u. s. w.). Bei ihnen schwingen Platten oder Häute (Felle, Membranen), sei es als Ganzes oder in mehreren schwingenden Abtheilungen, welche durch Knotenlinien von einander abgegrenzt sind. (Chladni'sche Klangfiguren.)

3. Die Blasinstrumente (offene und gedeckte Lippenpfeife, Flöte, Trompete, Posaune u. s. w.). Der Ton entsteht durch Longitudonal-Schwingungen der in den Instrumenten befindlichen Luft, über die man hinweg- oder in die man einen schmalen Luftstrom hineinbläst. — Die Wellenlänge des Tones einer gedeckten Pfeife ist das Vierfache ihrer Länge; eine offene Pfeife giebt die Oktave des Tones einer gleich langen gedeckten Pfeife und denselben Ton wie eine halb so lange gedeckte Pfeife (vorausgesetzt, dass der Querschnitt der Pfeifenrohre derselbe ist).

Eine besondere Art von Blasinstrumenten sind die Zungenwerke (Klarinette, Oboe, Fagott, die Zungenpfeifen der Orgel, welch' letztere aber auch Lippenpfeifen besitzt). Bei ihnen wird die Luft durch die Schwingungen elastischer Plättchen zum Tönen gebracht. — Den Zungenpfeifen ähnlich ist das menschliche Stimmorgan: die Stimmbänder werden durch einen Luftstrom in tönende Schwingungen versetzt.

4. Die klingenden Instrumente (Stimmgabel, Triangel, Zinken der Spieldose u. s. w.), bei denen elastische Stäbe Transversalschwingungen ausführen.

Tonstärke und Klangfarbe. Die Stärke eines Tones ist von der Schwingungsweite abhängig. Die Klangfarbe erhält ein Ton durch eine Reihe von Obertönen, die sich dem Grundton beigesellen und dadurch entstehen, dass die schwingenden Körper, welche den Ton hervorbringen (z. B. eine Geigensaite), nicht nur als Ganzes schwingen, sondern sich zugleich in kleinere schwingende Abschnitte zerlegen, die durch in verhältnissmässiger Ruhe befindliche Knoten getrennt werden. Die Schwingungszahlen der Obertöne sind Vielfache der Schwingungszahl des Grundtones. Die Wellen der Obertöne kombiniren sich mit denen des Grundtones; jene und diese lagern sich über einander (Uebereinanderlagerung kleiner

Bewegungen), so dass ein Grundton je nach den ihn begleitenden Obertönen verschiedene Wellenform besitzt.

Der Nachweis der in den verschiedenen Klängen enthaltenen Obertöne lässt sich mit Hilfe der v. Helmholtz'schen Resonatoren erbringen.

Mittönen und Resonanz. Wird eine von zwei denselben Ton gebenden Stimmgabeln (Saiten u. dergl.) zum Tönen gebracht und gleich darauf durch Berührung mit der Hand in ihren Schwingungen unterbrochen, so hört man, dass die andere leise nachtönt. Dies beweist, dass die Schwingungen der ersten Stimmgabel sich durch die Luft auf die zweite übertrugen und ein Mitschwingen und Mittönen der letzteren hervorriefen.

Stemmt man eine angeschlagene Stimmgabel auf Holz, so schwingen die Holztheilchen mit, und der Ton der Stimmgabel wird verstärkt. Die gleiche Verstärkung wird durch die Resonanzböden oder Resonanzkästen der verschiedenen musikalischen Instrumente erreicht, in denen sowohl die Luft wie das Holz zum Mittönen veranlasst wird.

Phonograph und Grammophon. Der Phonograph (Edison, 1877) und das Grammophon dienen dazu, Tonreihen zu konserviren und nach Verlauf beliebiger Zeit wieder zum Vorschein kommen zu lassen. Der Phonograph besteht aus einer dünnen Glasmembran, gegen die gesprochen, gesungen, geblasen u. s. w. wird, so dass sie in Schwingungen geräth. Diesen Schwingungen entsprechend macht ein auf der Rückseite der Membran befestigter Stift Eindrücke auf einen Wachscylinder, der sich an ihm, gleichzeitig seitlich vorrückend, vorbeidreht. Wird späterhin der Wachscylinder, der beliebig aufgehoben werden kann, genau so wieder eingestellt wie zu Anfang des Versuchs, an dem Stift vorbeigedreht und dieser leicht gegen den Wachscylinder gedrückt, so vollführt die Membran dieselben Schwingungen wie bei der Erzeugung der Eindrücke auf dem Wachscylinder und sendet daher dieselben Tonwellen und damit dieselben Töne nach aussen in die Luft, die vorher auf sie übertragen worden waren.

10. Die Lehre vom Licht.

(Optik.)

Natur des Lichtes. Das Licht beruht ebenso wie der Schall auf einer Wellenbewegung, aber nicht der uns umgebenden Körper, sondern des alle Zwischenräume zwischen den Körpertheilen erfüllenden Aethers (Weltäthers oder Lichtäthers). Die Schwingungen sind transversale.

Dass der Aether der Träger der Lichtschwingungen ist, erkennt man daraus, dass das Licht durch luftleere Räume ungeschwächt hindurchgeht (dass

es insbesondere von den Himmelskörpern aus durch den luftleeren Weltraum zu uns gelangt), während andererseits viele Körper das Licht nicht hindurchlassen.

Die Lehre von der Wellenbewegung des Lichts, die sogenannte Undulationstheorie, hat Huyghens (1690) begründet. Vor ihm hatte die Newtonsche Emissions- (oder Emanations-)Theorie (1672) Anerkennung gefunden, wonach das Licht ein äusserst feiner, unwägbarer (imponderabler) Stoff sein sollte, der von den leuchtenden Körpern ausströmte. Der letzteren Theorie widersprechen mancherlei Erscheinungen, z. B. im Gebiete der Farbenlehre; streng widerlegt wurde sie durch die Thatsachen der Interferenz des Lichtes.

Ausbreitung des Lichtes. Trotzdem das Licht in einer Wellenbewegung besteht, breitet es sich doch geradlinig aus, indem von einem Licht aussendenden Mittelpunkte aus die Wellenbewegung sich bis zu einem bestimmten Punkte nur auf dem kürzesten Wege des Radius fortpflanzt, während sie auf allen hiervon abweichenden Wegen durch Interferenz vernichtet wird.

Das von dem Licht aussendenden Mittelpunkte (dem Strahlenpunkte) bis zu einem anderen Punkte sich fortbewegende Licht heisst ein Lichtstrahl; mehrere Lichtstrahlen bilden zusammen ein Strahlenbündel oder Lichtbündel (eigentlich Lichtstrahlenbündel).

Der geradlinige Verlauf der Lichtstrahlen lässt sich an einem Lichtbündel erkennen, das durch eine kleine Oeffnung in ein staub- oder raucherfülltes, finsternes Zimmer eintritt; ferner an Form und Grösse des Schattens, den ein von einem Lichtbündel getroffener Gegenstand wirft.

Die Lichtaussendung wird Leuchten genannt.

Als Schatten bezeichnet man den wenig oder gar nicht beleuchteten Raum hinter einem beleuchteten Körper, der kein Licht hindurchlässt. Man unterscheidet zwei Arten des Schattens: Kernschatten und Halbschatten. Der Kernschatten ist der Raum, dem gar kein Licht zu Theil wird, während der den Kernschatten umgebende Raum, der von einigen Punkten des leuchtenden Körpers Licht empfängt, Halbschatten genannt wird. Beide haben kegelförmige Gestalt. (Fig. 58.) Unter dem Ausdruck „Schatten“ wird häufig auch nur das dunkle Flächenstück verstanden, das auf einer den (bezw. die) Schattenkegel schneidenden Fläche entsteht.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes (aus den Verfinsterungen der Jupitermonde — 1675 durch Olaf Römer —, der Aberration des Lichtes der Fixsterne, sowie durch sinnreich gebaute Apparate auch für irdische Entfernungen ermittelt) beträgt ungefähr 289 000 km oder rund 40 000 Meilen in der Sekunde (ist also nahezu 1 Million Mal so gross als die des Schalles).

Hinsichtlich der Stärke erfolgt die Ausbreitung des Lichtes

nach demselben Gesetze wie die des Schalles: die Lichtintensität ist umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung.

Selbstleuchtende Körper. Ein Körper, der das Licht, welches er aussendet, selbständig hervorbringt, heisst ein selbstleuchtender Körper. Zu

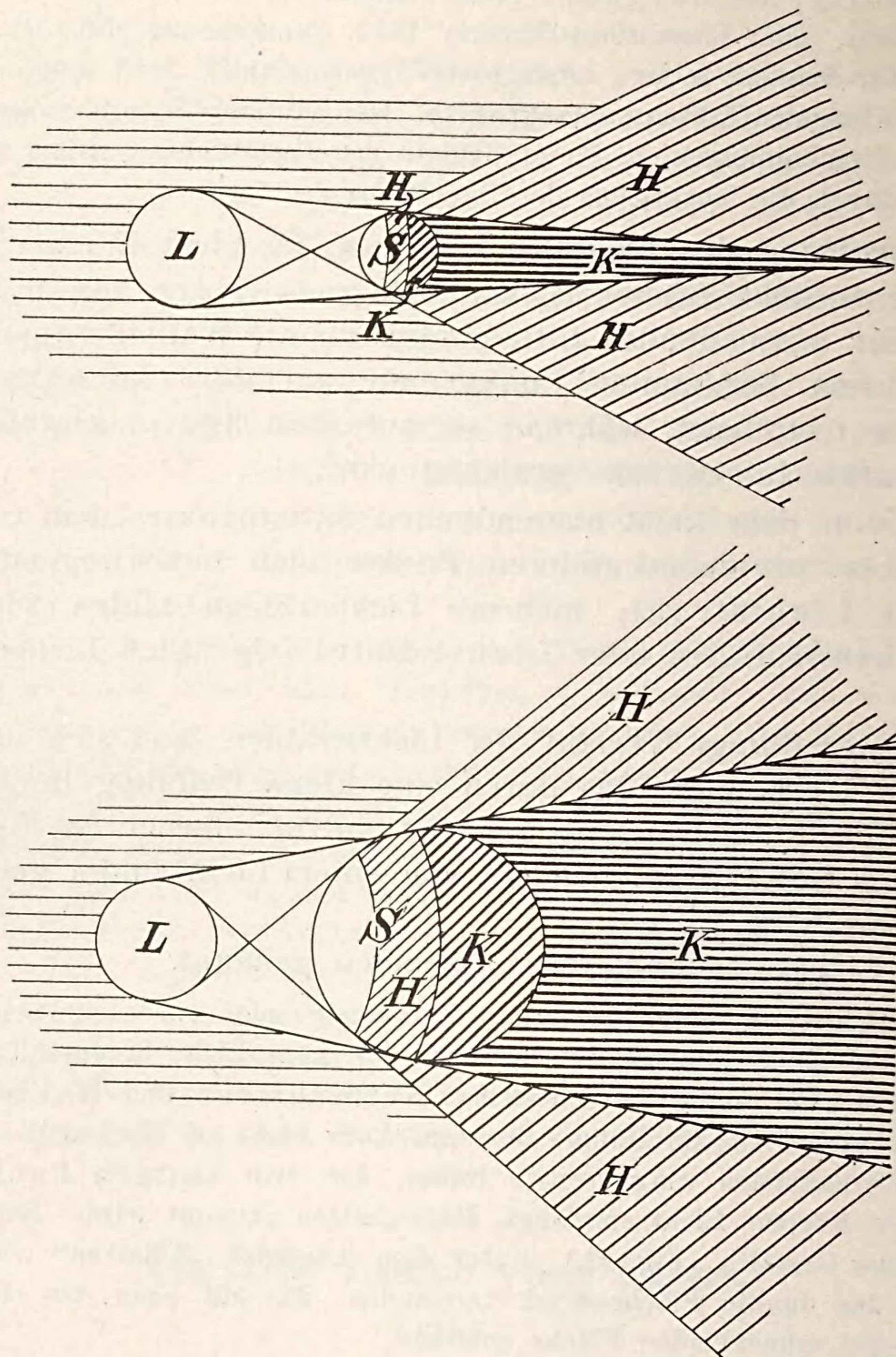


Fig. 58. Kern- und Halbschatten.

(L = leuchtender Körper, S = Schatten werfender Körper, K = Kernschatten, H = Halbschatten.)

den selbstleuchtenden Körpern gehören: die Sonne und die Fixsterne; verbrennende und glühende Körper; phosphorescirende Körper, welche im Unterschied von den vorgenannten schon bei gewöhnlicher Temperatur leuchten, und zwar entweder durch Oxydation (chemische Verbindung mit Sauerstoff) oder in Folge voraufgegangener Insolation (Bestrahlung durch Sonnen- oder zerstreutes

Tageslicht) zum Leuchten gelangen; leuchtende Organismen (Leuchtkäfer, Leuchtinfusorien u. s. w., welch' letztere das Meeresleuchten hervorrufen).

Licht empfangende Körper. Wenn eine gewisse Menge Licht auf einen Körper fällt, so verhält es sich in dreifach verschiedener Art: ein Theil wird unmittelbar an der Oberfläche oder von den derselben nahe gelegenen Schichten des Körpers zurückgeworfen oder reflektirt; ein Theil dringt in den Körper ein und wird absorbirt; ein dritter geht durch den Körper hindurch, wird hindurchgelassen. Dieser dritte Theil kommt bei gewisser Beschaffenheit der Körper in Wegfall: es wird dann alles nicht reflektirte Licht von dem Körper absorbirt.

Körper, welche kein Licht hindurchlassen, heissen undurchsichtig; die übrigen theils durchsichtig, theils durchscheinend. Durchsichtig werden diejenigen Körper genannt, durch welche die Lichtstrahlen derartig ungehindert hindurchgehen, dass Gegenstände, von denen sie ausgehen, vollkommen erkennbar sind; durchscheinende Körper lassen das Licht nur als hellen Schein hindurch, ohne dass Gegenstände durch sie erblickt oder erkannt werden könnten.

Körper mit glatten, polirten Oberflächen, welche die auf sie fallenden Lichtstrahlen regelmässig, in bestimmter Richtung reflektiren, heissen spiegelnde Körper. Körper mit rauher Oberfläche werfen die Lichtstrahlen unregelmässig nach allen Richtungen zurück: zerstreute Reflexion. Diese ist es, wodurch uns die Körper sichtbar werden. Körper, welche fast kein Licht reflektiren, wie die Luft, sind unsichtbar.

Photometrie. Die Lichtstärke eines leuchtenden Körpers wird mit dem Photometer gemessen. Das Bunsen'sche Photometer (1847) besitzt als Hauptbestandtheil einen Papierschirm, der an einer Stelle durch einen Oelfleck durchscheinend gemacht ist. Erfährt dieser Schirm von beiden Seiten her ungleich starke Beleuchtung — auf der einen Seite durch den zu untersuchenden leuchtenden Körper, auf der andern durch eine sogenannte Normalkerze —, so sieht der Fleck auf der stärker beleuchteten Seite dunkler, auf der schwächer beleuchteten Seite heller aus als seine Umgebung; was seinen Grund darin hat, dass befettetes Papier mehr Licht hindurchlässt und weniger reflektirt als unbefettetes Papier. Soll der Fleck sich von dem übrigen Papier nicht unterscheiden, also scheinbar verschwinden, so muss der Schirm von beiden Seiten her gleich stark beleuchtet werden. Dies kann durch Veränderung der Entfernung der einen Lichtquelle — z. B. der Normalkerze — vom Schirm geschehen. Aus dem Vergleich der Entfernungen beider Lichtquellen vom Schirm bei der jetzt herrschenden gleichen Leuchtstärke lässt sich dann das für die gleiche Entfernung herrschende Verhältniss der Leuchtstärke des zu untersuchenden Körpers zu dem der Normalkerze — auf Grund des Gesetzes über die

Ausbreitung des Lichtes, S. 93—94 — berechnen. Dieses Verhältniss ist dann die Lichtstärke des Körpers, da die Leuchtstärke der Normalkerze = 1 gesetzt wird.

Reflexion des Lichtes (Katoptrik). Die Lehre von der regelmässigen Reflexion (oder Spiegelung) des Lichtes — die Katoptrik — beschäftigt sich hauptsächlich mit der Reflexion an ebenen oder Planspiegeln und an kugelförmigen (sphärischen) Konkav- und Konvexspiegeln.

Für die Richtung eines reflektirten Lichtstrahls gilt dasselbe Gesetz wie für die Zurückwerfung einer elastischen Kugel von einer festen Wand (S. 85): Der Einfallswinkel ist gleich dem Ausfallswinkel (oder Reflexionswinkel). Hervorzuheben ist, dass der reflektirte Strahl in der durch den einfallenden Strahl und das Einfallslot bestimmten Ebene liegt.

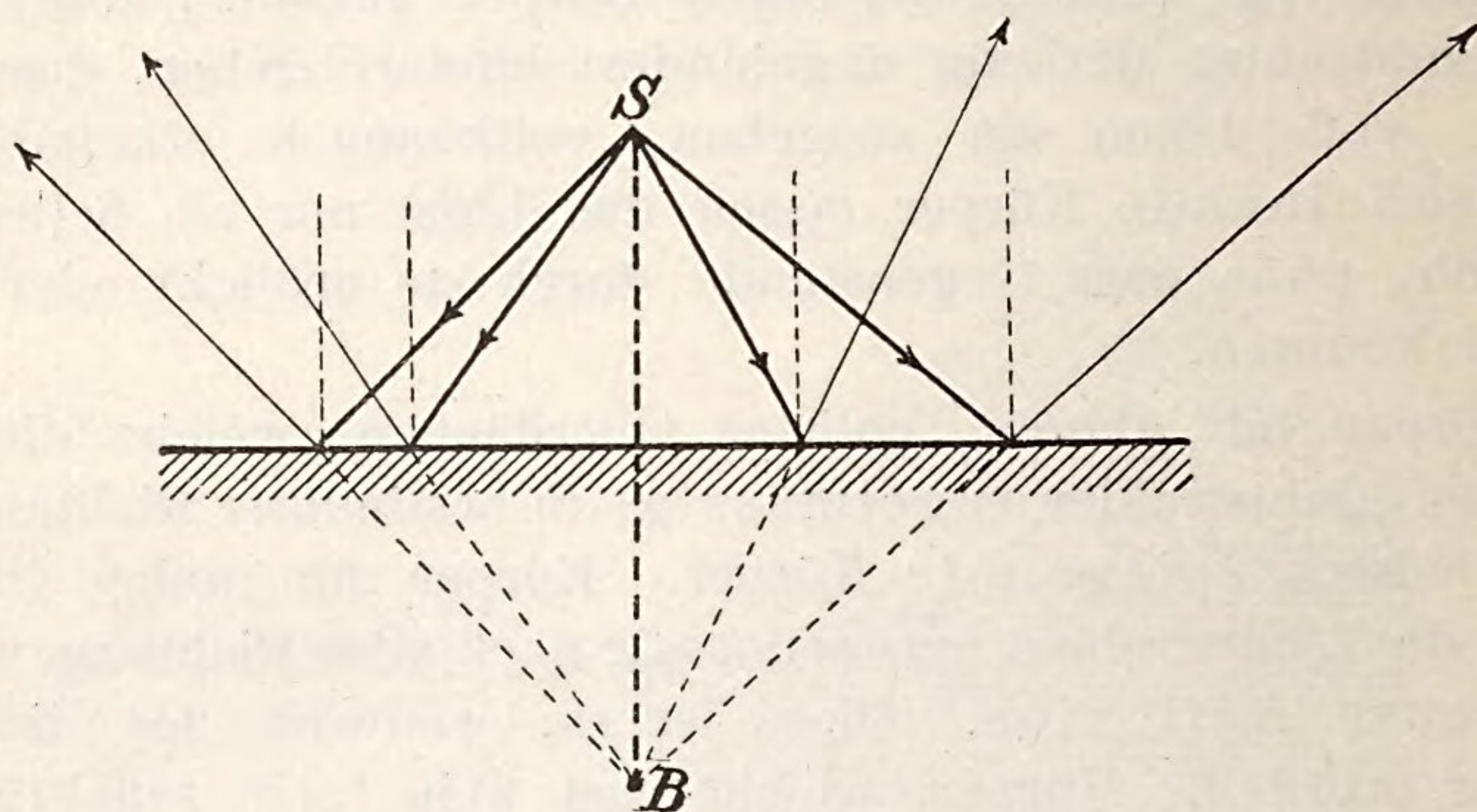


Fig. 59. Reflexion an ebenen Spiegeln.

Auf Grund dieses Gesetzes kommen die von einem Strahlenpunkte ausgehenden Lichtstrahlen, die auf einen ebenen Spiegel fallen, von demselben in derartigen Richtungen zurück, als wären sie von einem Punkte ausgegangen, der ebenso weit hinter der Spiegelebene liegt, wie der Strahlenpunkt vor derselben, und dessen Verbindungslinie mit dem Strahlenpunkte die Spiegelebene rechtwinklig schneidet. Dieser Punkt heisst Bildpunkt (Fig. 59, *B*).

Von einem Gegenstande, der aus zahlreichen Strahlenpunkten besteht, giebt ein ebener Spiegel ein — scheinbares oder virtuelles — optisches Bild.

Ein kugelförmiger Konkavspiegel (auch Hohlspiegel genannt, Fig. 60) ist ein Stück einer Kugelfläche; die Verbindungslinie des (vor dem Spiegel liegenden) Mittelpunktes der Kugel — des Krümmungsmittelpunktes (*M*) — mit der Mitte (*A*) der Spiegelfläche heisst die Achse des Spiegels (*MA*). Der in der

Mitte dieser Achse liegende Punkt (B) heisst der Brennpunkt des Spiegels (oder Focus), seine Entfernung von der Spiegelfläche (AB) die Brennweite des Spiegels.

Im Brennpunkte vereinigen sich (annähernd) alle parallel der Achse einfallenden Strahlen nach erfolgter Reflexion. Umgekehrt werden alle vom Brennpunkt aus auf den Spiegel fallenden Strahlen parallel der Achse zurückgeworfen. (Leuchtfeuer).

(Einfallslot ist ein nach dem Punkte, in welchem der einfallende Strahl die Spiegelfläche trifft, gezogener Radius — Fig. 60, MC .)

Der Bildpunkt eines in der Achse gelegenen Strahlenpunktes ist reell (lässt sich daher z. B. auf einem Schirm auffangen) und liegt zwischen Krümmungsmittelpunkt und Brennpunkt, wenn der Strahlen-

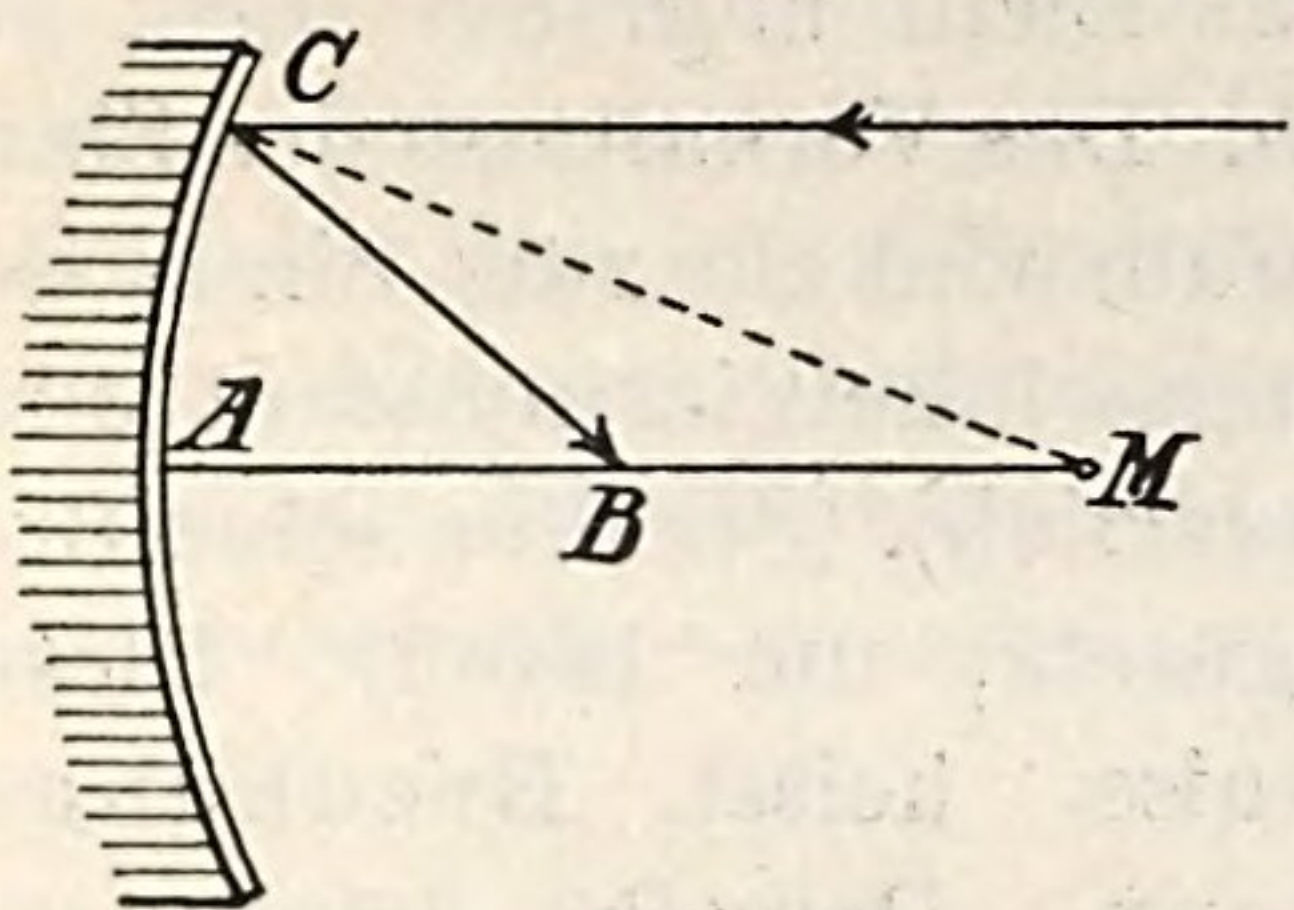


Fig. 60. Reflexion an Hohlspiegeln.

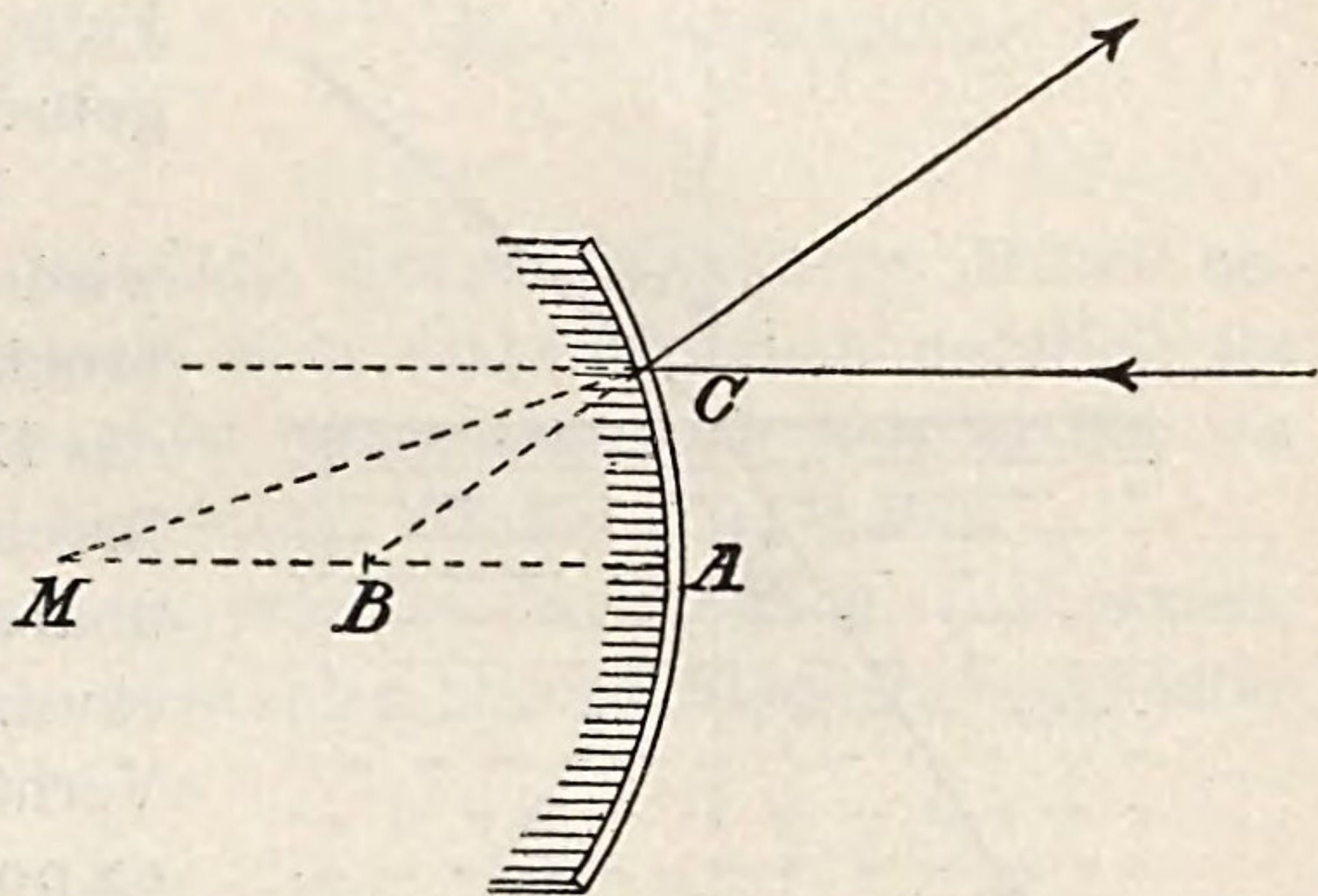


Fig. 61. Reflexion an Konvexspiegeln.

punkt weiter vom Spiegel entfernt ist als der Krümmungsmittelpunkt; umgekehrt liegt der Bildpunkt vom Krümmungsmittelpunkt gerechnet nach aussen, wenn der Strahlenpunkt zwischen Krümmungsmittelpunkt und Brennpunkt liegt; liegt endlich der Strahlenpunkt zwischen Brennpunkt und Spiegelfläche, so entsteht hinter der letzteren ein virtueller Bildpunkt, von dem aus die reflektirten Strahlen auseinandergehen. — Die Bilder von Gegenständen sind theils reell und dann umgekehrt und vergrössert oder verkleinert, theils virtuell, aufrecht und vergrössert.

Bei dem kugelförmigen Konvexspiegel (Fig. 61) ist der Brennpunkt (B) virtuell und liegt hinter dem Spiegel. Der Bildpunkt jedes Strahlenpunktes ist virtuell und liegt zwischen Spiegelfläche und Brennpunkt. — Die Bilder von Gegenständen sind virtuell, aufrecht und verkleinert.

Brechung oder Refraktion des Lichtes (Dioptrik). Wenn ein Lichtstrahl aus einem in ein anderes, Licht durchlassendes Mittel,

z. B. aus Luft in Wasser oder Glas, eintritt (Fig. 62), so wird er aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt oder gebrochen; nur senkrecht zur Grenzfläche zwischen beiden Mitteln verlaufende Strahlen werden nicht gebrochen. Die Winkel, welche der Lichtstrahl mit dem Einfallslot bildet, heissen Einfallswinkel (α) und Brechungswinkel (β). In den genannten Beispielen (Luft — Wasser, Luft — Glas) ist der Brechungswinkel kleiner als der Einfallswinkel.

Die Lehre von der Brechung oder Refraktion des Lichtes heisst Dioptrik.

Allgemein gilt, dass der Lichtstrahl, wenn er aus einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Mittel übergeht, dem Einfallslot zugebrochen, im umgekehrten Falle vom Einfallslot weggebrochen wird.

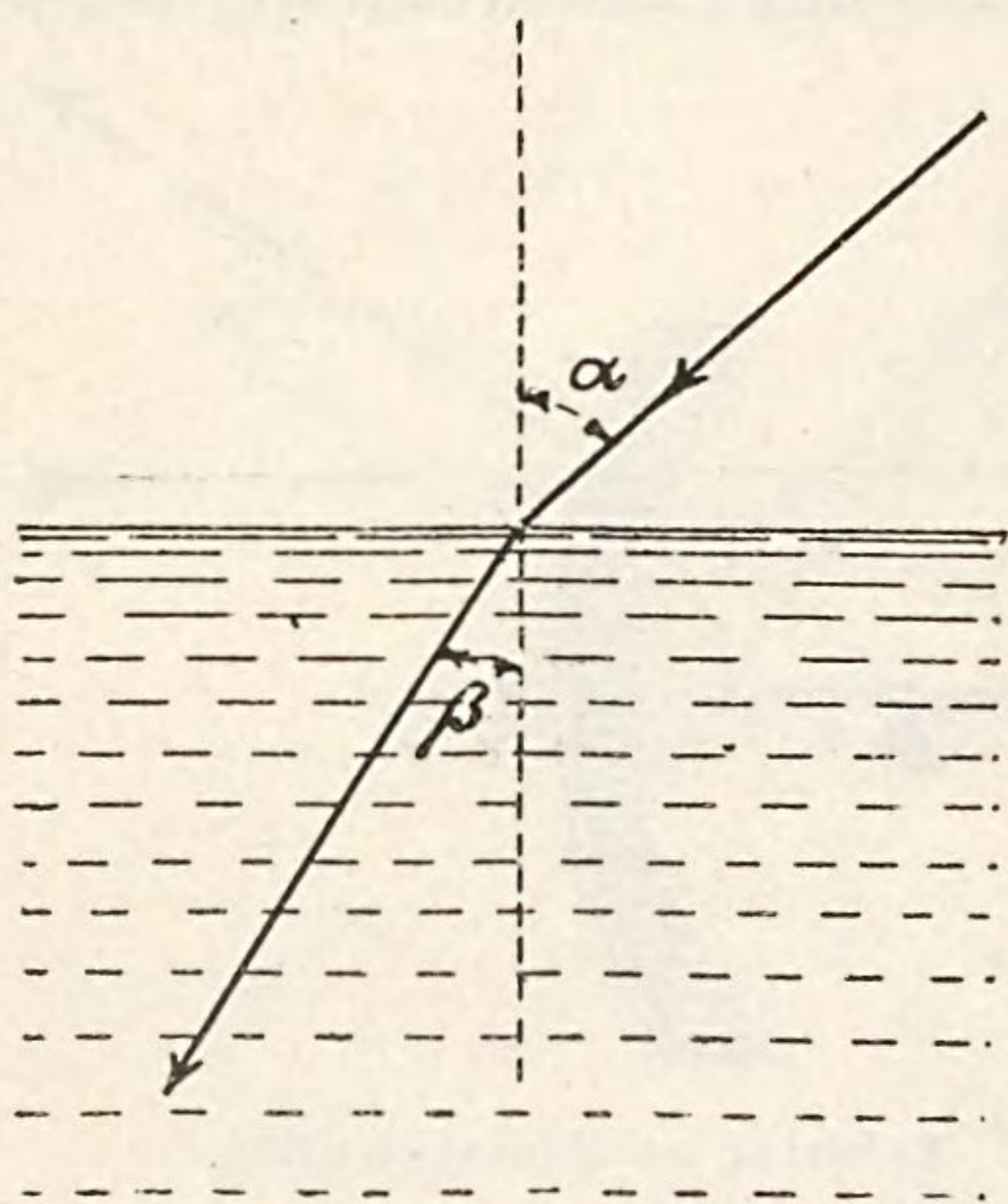


Fig. 62. Brechung des Lichtes.

Von verschiedenen Mitteln wird das Licht ungleich stark gebrochen. Das Verhältniss des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels ist konstant (oder unabänderlich). (Snellius'sches Brechungsgesetz; um 1600.) Dieses Verhältniss heisst Brechungsexponent. Derselbe hängt von der Natur des brechenden Mittels ab, insbesondere von dessen specifischem Gewicht; ferner von

der Temperatur. Er ist für (Luft und) Wasser $= \frac{4}{3}$, für (Luft und) Glas $= \frac{3}{2}$.

In Folge der Lichtbrechung erscheinen unter Wasser befindliche Gegenstände gehoben, wie Fig. 63 veranschaulicht, wo die von A und B kommenden Lichtstrahlen AC und BD bei ihrem Austritt aus dem Wasser derartig gebrochen werden, dass sie die Richtungen CO und DO einschlagen; befindet sich nun in O das Auge eines Beobachters, so versetzt es den Gegenstand in Richtung der geraden Linien OCA' und ODB' nach $A'B'$.

Wenn ein Lichtstrahl aus einem optisch dichteren Mittel an die Grenze eines optisch dünneren Mittels herantritt, so wird er nur dann in letzteres eintreten können, wenn der Einfallswinkel sich noch so weit von 90° unterscheidet, dass der Brechungswinkel nicht 90° oder mehr beträgt. Ist der Einfallswinkel so gross — d. h. fällt der Lichtstrahl so schräg oder flach auf die Grenzfläche beider Mittel —, dass der Brechungswinkel über 90° beträgt, so wird der Lichtstrahl nicht in das dünnere Mittel hineingebrochen, sondern wieder in das

dichtere Mittel reflektirt — totale Reflexion. Die totale Reflexion hat ihren Namen daher, weil sie vollkommener ist als jede Reflexion an Spiegelflächen. Sie lässt sich z. B. beobachten, wenn man von unten her schräg gegen die Oberfläche des Wassers in einem Glase blickt. (Siehe Fig. 64.)

Wenn Licht durch planparallele Platten, d. h. durch einen von zwei parallelen Ebenen begrenzten Körper, hindurchtritt, so

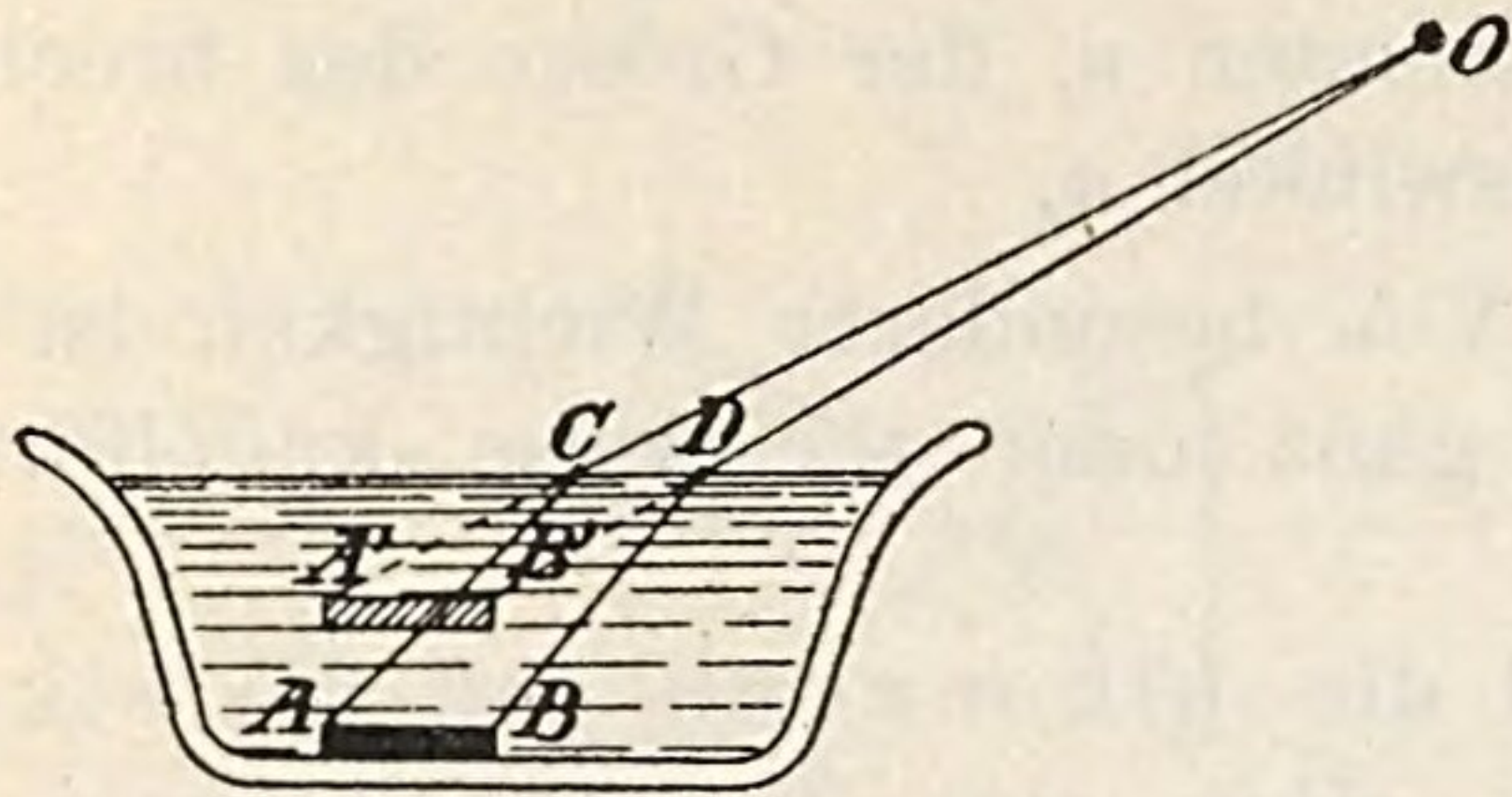


Fig. 63. Scheinbare Ortsveränderung unter Wasser befindlicher Gegenstände.

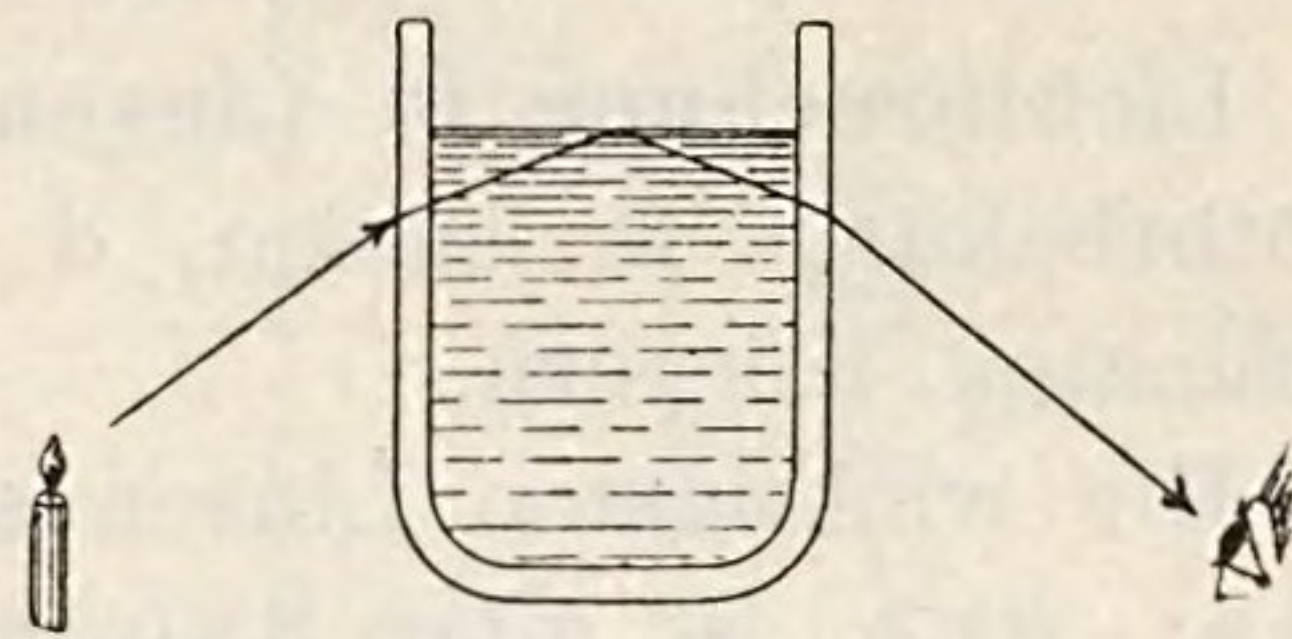


Fig. 64. Totale Reflexion.

ist, wenn sich vor und hinter dem Körper dasselbe Mittel befindet, der austretende Lichtstrahl dem ursprünglichen parallel; da nämlich (Fig. 65) Winkel $\beta = \gamma$ ist, so muss auch wegen der an beiden Ebenen gleichartigen Brechung Winkel $\alpha = \delta$ sein.

Eine bleibende Ablenkung erleidet dagegen ein Lichtstrahl, der durch ein von zwei nicht parallelen ebenen Flächen begrenztes

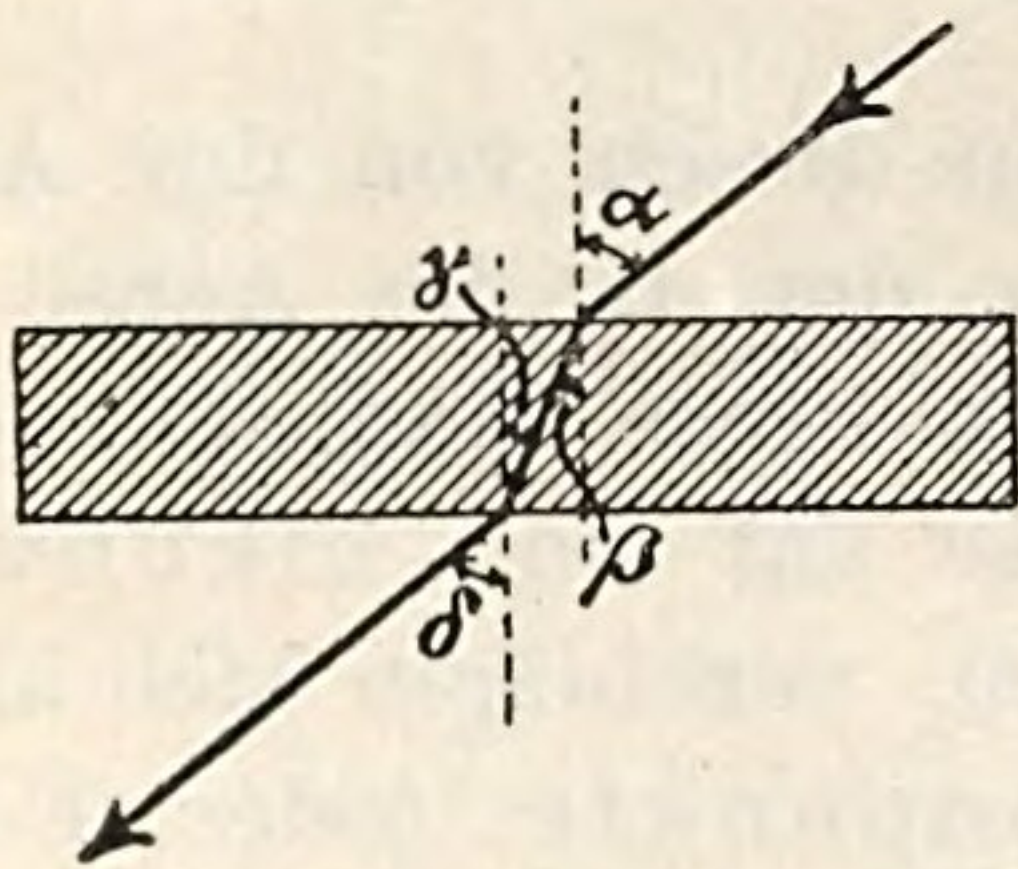


Fig. 65. Lichtbrechung in planparallelen Platten.

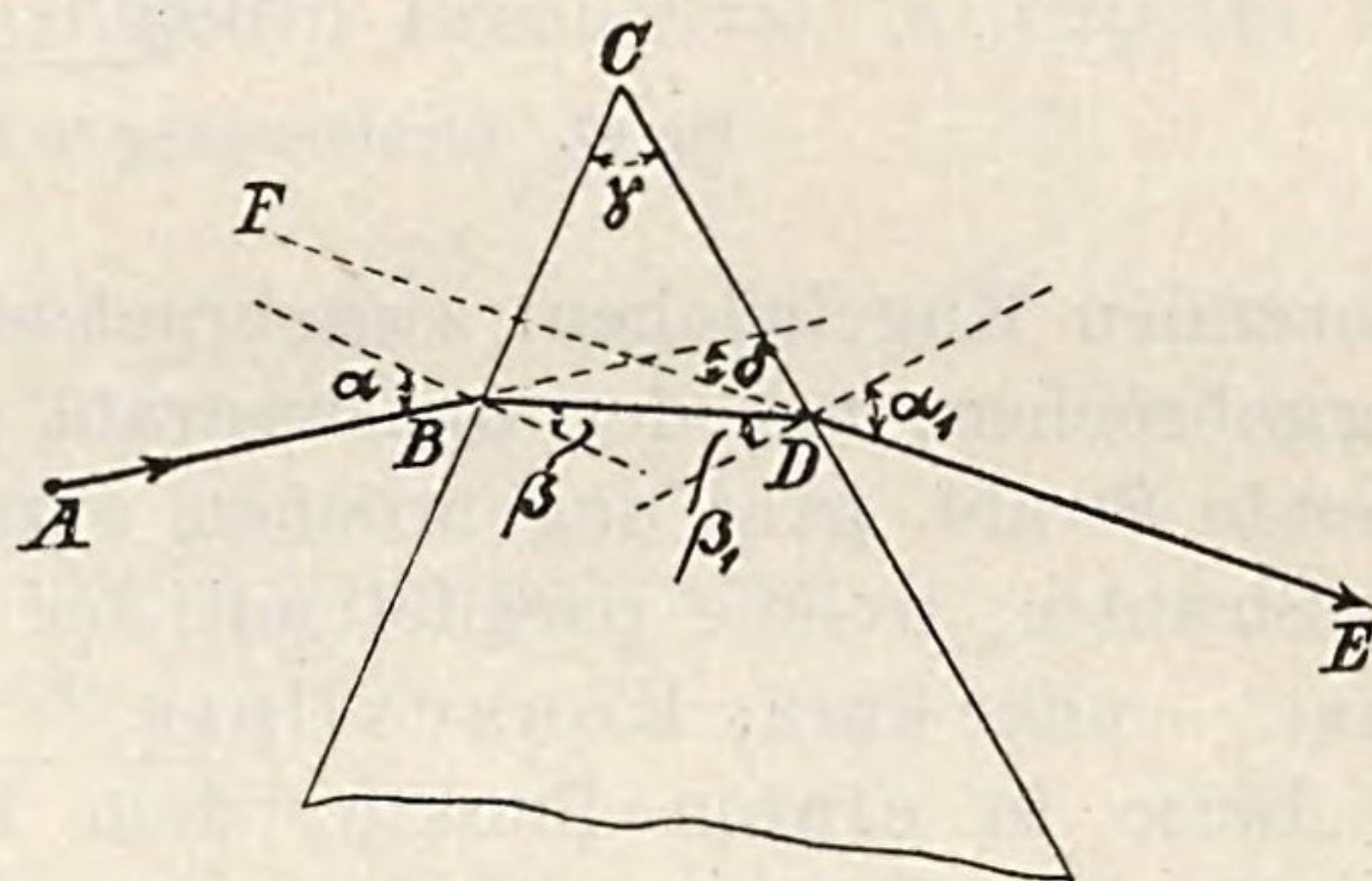


Fig. 66. Lichtbrechung in Prismen.

Mittel — ein Prisma — hindurchtritt. (Fig. 66.) Die Durchschnittskante (C) der lichtbrechenden Flächen heisst die brechende Kante, der Neigungswinkel der Flächen (γ) heisst der brechende Winkel des Prismas. Der von dem Strahlenpunkte A kommende Lichtstrahl AB verläuft in der Richtung BD durch das Prisma und gelangt auf dem Wege DE in ein bei E befindliches Auge. Das Auge sieht den Strahlenpunkt in der Richtung EDF, also nach der brechenden Kante hin verschoben. Ist n der Brechungs-

exponent des Stoffes, aus dem das Prisma besteht, so ist $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1}$. Die gesammte Ablenkung des Lichtstrahls wird durch den Winkel δ angegeben, den die Richtungen des Lichtstrahls vor dem Eintritt in das Prisma und nach dem Austritt aus demselben mit einander bilden. Die Grösse dieser Ablenkung hängt von drei Grössen ab: dem Brechungsexponenten n , der Grösse des brechenden Winkels γ und dem Einfallswinkel α .

Lichtbrechung in Linsen. Von besonderer Wichtigkeit ist die Lichtbrechung in Linsen, d. h. ganz oder theilweise kugelförmig begrenzten Körpern.

Die wichtigsten Linsen sind die bikonvexe und die bikonkave; jene ist eine Sammel-, diese eine Zerstreuungslinse; von jenen werden die Lichtstrahlen der Achse (der Verbindungslinie der Krümmungsmittelpunkte der beiden die Linse be-

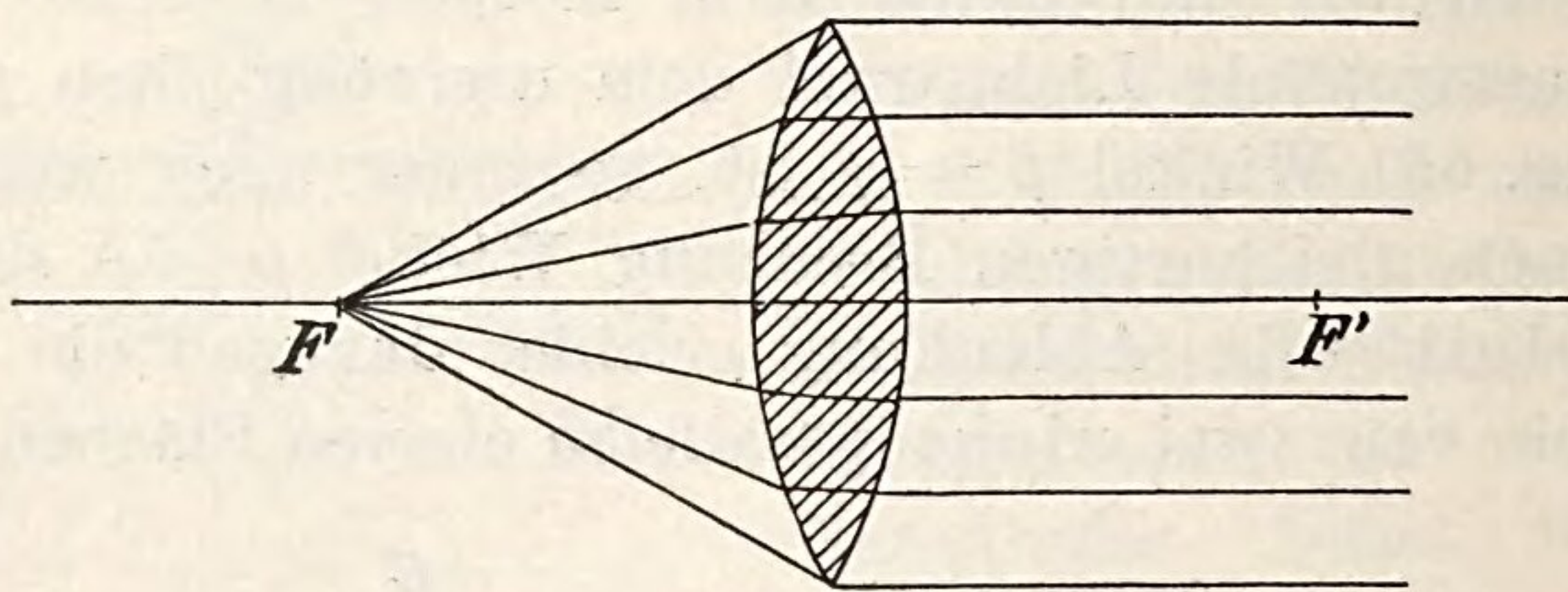


Fig. 67. Lichtbrechung in Konvexlinsen.

grenzenden Kugelflächen) zugebrochen, von diesen von der Achse weggebrochen; nur der Achsenstrahl, d. h. der in der Achse einfallende Strahl, geht ungebrochen durch die Linse hindurch.

Strahlen, welche parallel mit der Achse auf eine bikonvexe Linse — oder kurz: Konvexlinse — fallen, vereinigen sich hinter der Linse in einem Punkte, dem Brennpunkte (oder Focus, Fig. 67, F). Derselbe liegt in der Achse; seine Entfernung von der brechenden Fläche der Linse — bzw., wenn die Linse dünn genug ist, von dem Mittelpunkt derselben: dem optischen Mittelpunkt — heisst die Brennweite.

Ein Lichtstrahl, welcher durch den optischen Mittelpunkt geht, erleidet an beiden Flächen der Linse gleiche und entgegengesetzte Brechungen; es wird daher seine Richtung, wenn die Dicke der Linse als verschwindend klein betrachtet wird, durch die Brechung nicht geändert.

Mit Hilfe von der Achse parallelen und durch den optischen Mittelpunkt gehenden Strahlen kann man, wenn die Brennweite der

Linse bekannt ist, die Bilder von Gegenständen, welche die Linse erzeugt, konstruieren, wie Fig. 68 und 69 zeigen.

Ist die Entfernung des Gegenstandes (G in Fig. 68) von der Linse grösser als die doppelte Brennweite, so entsteht auf der andern Seite von der Linse ein reelles, umgekehrtes, verkleinertes Bild (B , Fig. 68); ist die Entfernung gleich der doppelten Brenn-

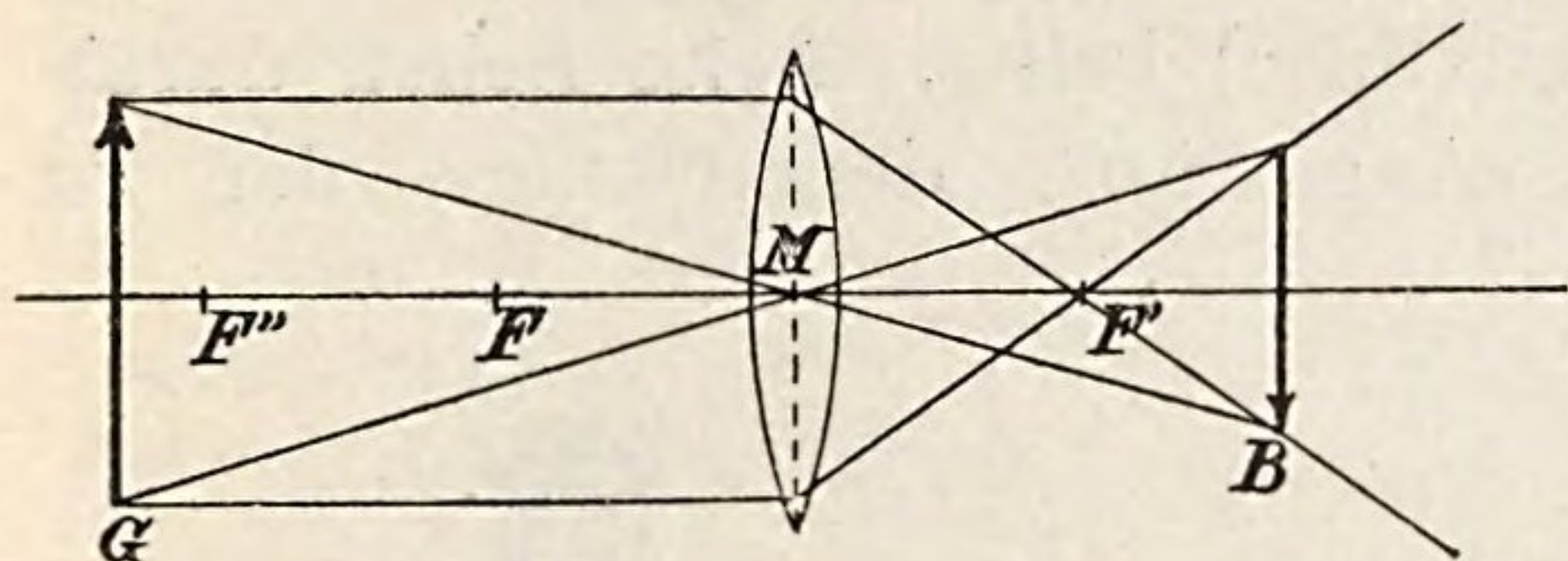


Fig. 68.

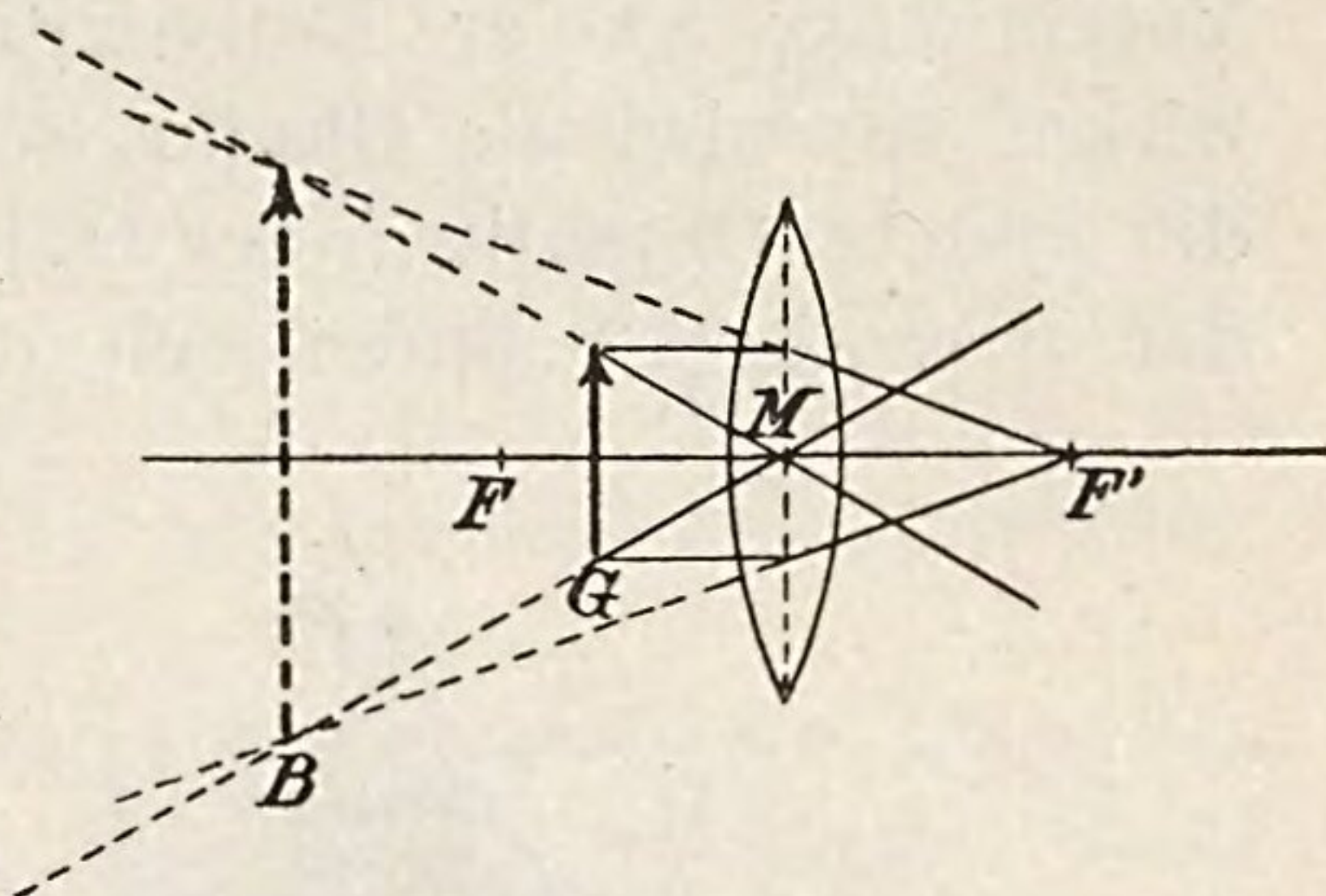


Fig. 69.

Durch Konvexlinsen erzeugte Bilder von Gegenständen. (G = Gegenstand; B = Bild; M = optischer Mittelpunkt; F und F' = Brennpunkte; $MF = MF'$ = einfache, MF'' = doppelte Brennweite.)

weite, so ist das Bild reell, umgekehrt und eben so gross wie der Gegenstand; ist die Entfernung kleiner als die doppelte Brennweite, aber noch grösser als die einfache Brennweite (B in Fig. 68), so ist das Bild reell, umgekehrt und vergrössert (G , Fig. 68); ist die Entfernung gleich der einfachen Brennweite, so entsteht kein

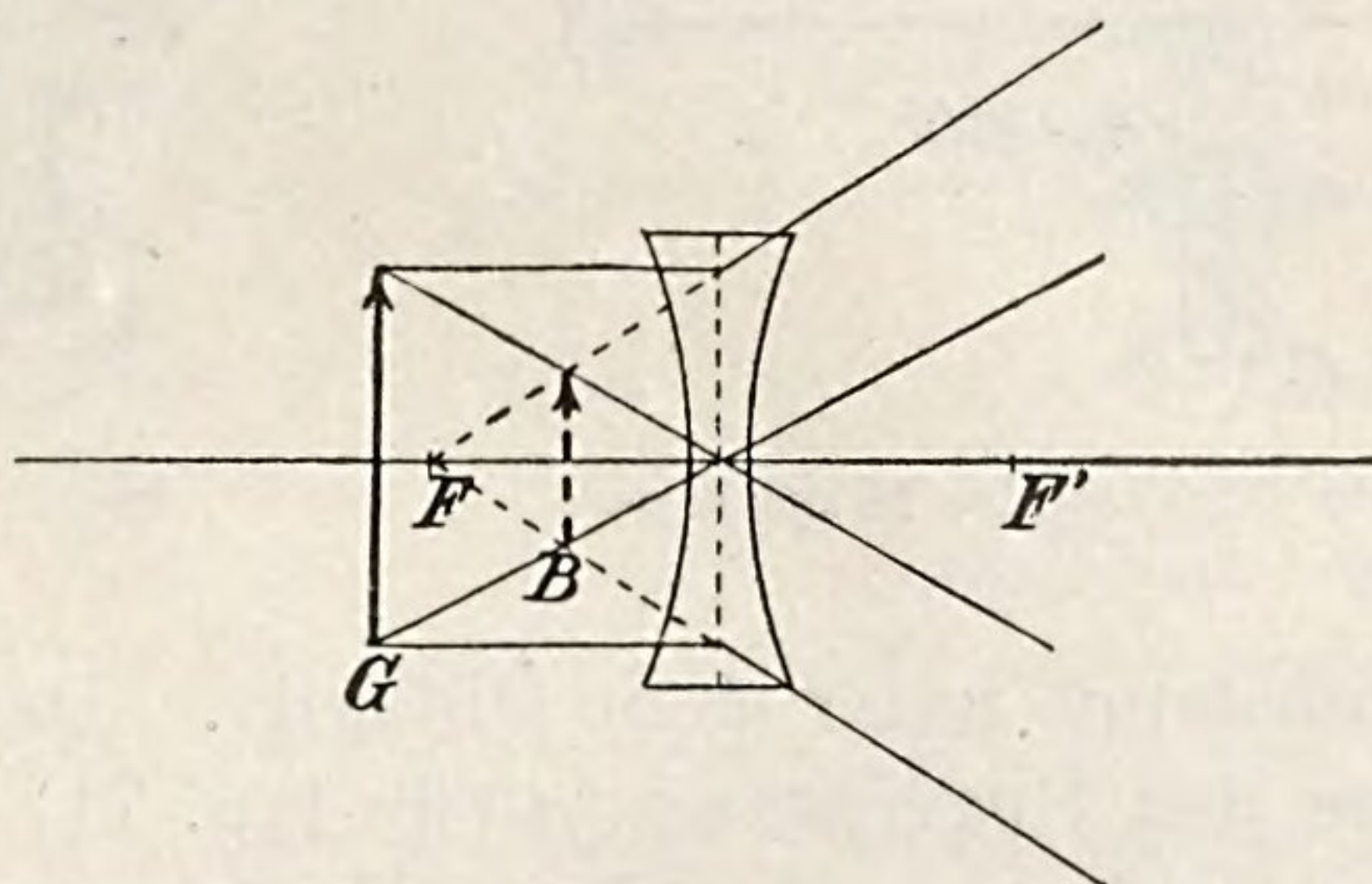
Fig. 70. Durch Konkavlinsen erzeugte Bilder von Gegenständen. (G = Gegenstand; B = Bild.)

Bild: die gebrochenen Strahlen verlassen die Linse parallel zu einander; ist die Entfernung kleiner als die einfache Brennweite (G in Fig. 69), so entsteht auf derselben Seite von der Linse, aber in weiterer Entfernung, als sie der Gegenstand von der Linse besitzt, ein virtuelles, aufrechtes, vergrössertes Bild (B , Fig. 69).

Auf letzterer Thatsache beruht die Anwendung der Lupe, einer mit einer Einfassung versehenen Konvexlinse, durch welche man innerhalb der Brennweite gelegene Gegenstände betrachtet, die

dann vergrößert erscheinen. Eine Konvexlinse wirkt um so stärker vergrößernd oder verkleinernd, je stärker gewölbt sie ist.

Die Bilder, welche eine bikonkave Linse — oder kurz: Konkavlinse — von Gegenständen liefert, sind, wie Fig. 70 zeigt, virtuell, aufrecht und verkleinert.

Mikroskop. Die Einrichtung des Mikroskops beruht auf der Vereinigung zweier Konvexlinsen, von denen die eine als Lupe wirkt; sie wird als Okular (oder Okularlinse) bezeichnet, während die andere Objektiv (oder Objektivlinse) heisst. Beim Sehen durch das Mikroskop befindet sich das Auge über dem Okular, der zu

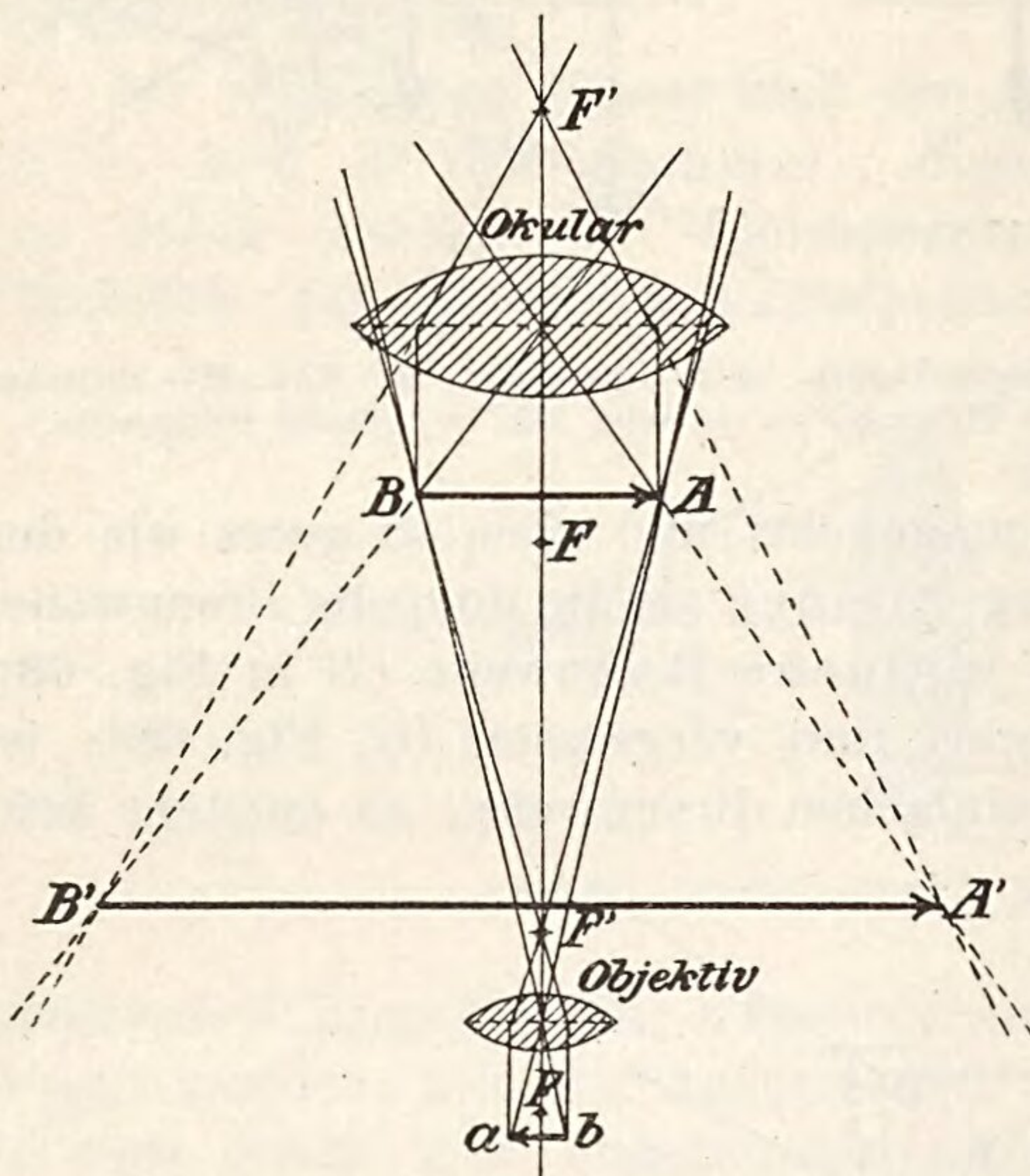


Fig. 71. Vergrößernde Wirkung des Mikroskops.

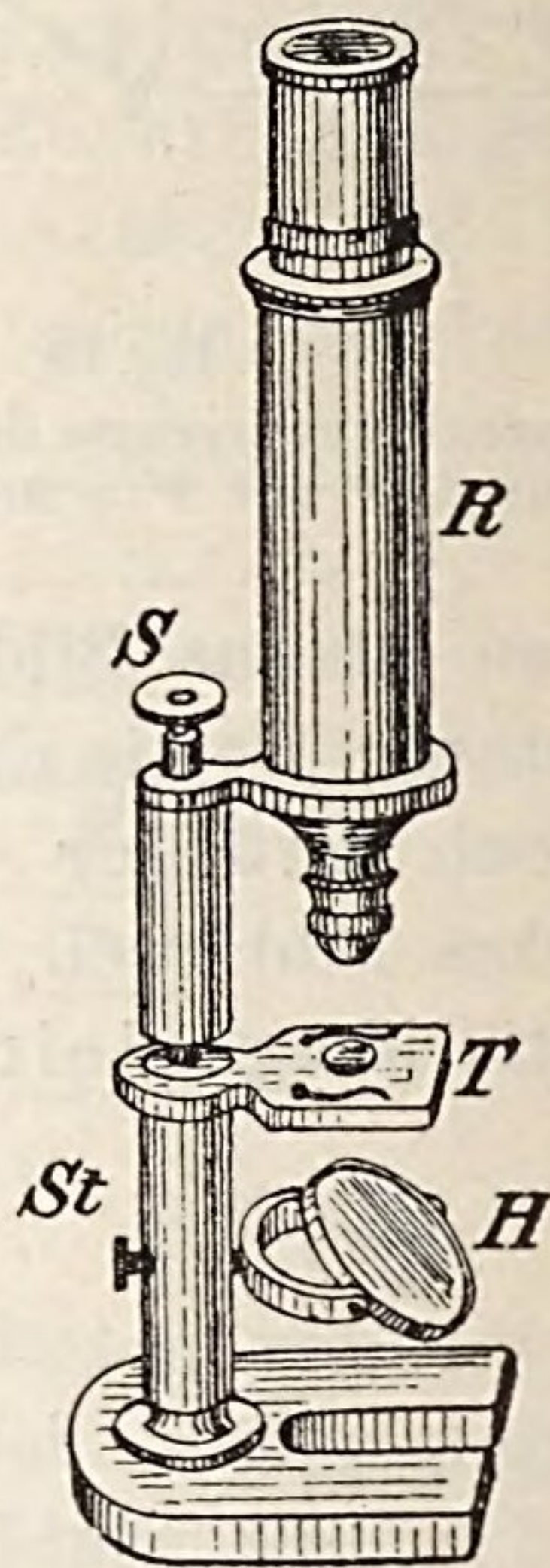


Fig. 72. Mikroskop.

betrachtende Gegenstand unter dem Objektiv. Das Objektiv wird so eingestellt, dass der Gegenstand (*ab* in Fig. 71) etwas über den Brennpunkt hinaus (zwischen einfache und doppelte Brennweite) zu liegen kommt; dann entsteht auf der andern Seite vom Objektiv aus (also oberhalb desselben) ein reelles, umgekehrtes, vergrößertes Bild (*AB*) des Gegenstandes. Objektiv und Okular sind nun derart beschaffen und in solcher Entfernung von einander angebracht, dass das genannte Bild innerhalb der Brennweite des Okulars auftritt. Wird dasselbe daher durch das Okular betrachtet, so entsteht von ihm nach dem Objektiv zu ein abermals vergrößertes virtuelles Bild (*A'B'*), das im Verhältniss zum Gegenstande gleichfalls umgekehrt erscheint.

Objektiv und Okular sind durch innen geschwärzte Röhren mit einander verbunden. Die Schwärzung soll die Abhaltung fremder Lichtstrahlen bewirken. Das Hauptrohr (Fig. 72, *R*) lässt sich mittels einer feinen Schraube (*S*) behufs genauer Einstellung des Gegenstandes heben und senken. Unter dem Objektiv befindet sich der zur Aufnahme des Gegenstandes bestimmte, mit einer kreisrunden Oeffnung versehene Objektisch (*T*). Zur Beleuchtung durchsichtiger Gegenstände ist am Ständer (*St*) des Mikroskops ein Hohlspiegel (*H*) derartig angebracht, dass er sich — um zwei rechtwinklig zu einander stehende horizontale Achsen — nach allen Seiten frei drehen lässt; er sammelt die von einem Fenster oder einer Lampe auf ihn fallenden Lichtstrahlen und wirft sie durch die Oeffnung im Objektisch nach dem Gegenstande empor.

Als Okular dient statt einer einfachen Linse gewöhnlich ein System von zwei Linsen, von denen die untere, nach dem Objektiv zu gelegene, die sogenannte Kollektivlinse, die im Objektiv gebrochenen Strahlen konvergenter (stärker zusammenlaufend) macht, das Bild näher bringt und dadurch die Entfernung des Okulars verringert und, wenn auch ein etwas kleineres Bild, so doch ein grösseres Gesichtsfeld schafft.

Das Objektiv besteht stets aus mehreren achromatischen, d. h. ungefärbte Bilder gebenden Doppellinsen. Farbige gesäumte Bilder würden undeutlich sein. — Ueber die Entstehung der Farben siehe später!

Der unter dem Mikroskop zu betrachtende Gegenstand wird, möglichst fein und durchsichtig, auf einen Objektträger von Glas gebracht, mit etwas Wasser befeuchtet und mit einem sehr dünnen Deckgläschen bedeckt. Wird zwischen Deckgläschen und Objektiv ein Wasser- oder Oeltropfen eingeschaltet — ein Verfahren, das man Immersion nennt — so wird die Vergrößerung erheblich gesteigert.

Zur Messung mikroskopischer Objekte bedient man sich entweder eines auf Glas geritzten Mikrometers, das man auf das Okular legen kann; oder es ist am Mikroskop selbst eine feine Mikrometerschraube angebracht, durch die sich der Objektisch seitlich verschieben lässt; behufs Ausführung einer Messung dreht man die Schraube derart, dass erst der eine, dann der andere Rand des Gegenstandes sich mit einem der Fäden eines im Okular angebrachten Fadekreuzes deckt. Dann giebt die am Schraubenkopf abzulesende Verschiebung die Grösse des Gegenstandes an.

Die Leistungsfähigkeit eines Mikroskops wird durch sogenannte Testobjekte (Diatomeen, Nobert'sche Gitter) festgestellt.

Erfunden wurde das Mikroskop um 1600 von Zacharias Jansen in Holland.

Fernrohr. Zur deutlichen Sichtbarmachung weit entfernter Gegenstände dienen die Fernrohre. Man unterscheidet zwei Arten derselben: dioptrische Fernrohre (Refraktoren) und katoptrische Fernrohre (Spiegelteleskope, Reflektoren); bei ersteren wird das reelle Bild des entfernten Gegenstandes durch eine Konvexlinse, bei letzteren durch einen Hohlspiegel hervorgebracht; die diop-

trischen Fernrohre theilt man wiederum ein in das astronomische oder Keppler'sche, das terrestrische oder Erdfernrohr und das holländische oder Galilei'sche Fernrohr.

Das astronomische Fernrohr hat Objektiv und Okular wie ein Mikroskop, beide sind Konvexlinsen. Das Objektiv, das eine grosse Brennweite besitzt, erzeugt von dem weit hinter dem Brennpunkt liegenden Gegenstand ein verkleinertes, umgekehrtes Bild, welches durch das Okular zur Vergrösserung und näheren Betrachtung gelangt; das Okular ist — je nach der Entfernung des Gegenstandes — verstellbar. Die Gegenstände erscheinen verkehrt. Im Erdfernrohr werden sie durch eine oder zwei zwischen Objektiv und Okular angebrachte Linsen aufrecht gemacht. Das holländische Fernrohr (Krimstecher, Opernglas) enthält ein bikonvexes Objektiv und ein bikonkaves Okular; letzteres ist innerhalb der Brennweite der Objektivlinse angebracht, fängt die Strahlen, ehe sie zu einem umgekehrten, verkleinerten Bilde gesammelt werden, auf und macht sie divergent und erzeugt so ein aufrechtes, vergrössertes Bild.

Das Sehen. Im menschlichen Auge wirken die im vorderen Theile des Augapfels befindliche Krystalllinse, sowie die vor der Regenbogenhaut gespannte und nach aussen gewölbte Hornhaut als Sammellinsen und lassen verkleinerte, umgekehrte Bilder der Gegenstände, von denen Lichtstrahlen ins Auge fallen, auf der die hintere innere Wand des Augapfels überziehenden Netzhaut entstehen. Dass wir die Gegenstände trotzdem aufrecht sehen, rührt von dem Sinn der Bewegungen her, die wir machen müssen, um bestimmte Theile eines Gegenstandes zu sehen; dieser Sinn der Bewegungen entspricht der Lage der betreffenden Theile: wollen wir den oberen Theil eines Gegenstandes sehen, so müssen wir das Auge oder den ganzen Kopf nach oben drehen u. s. w.

Damit ein Gegenstand deutlich gesehen werden könne, muss sich derselbe in einer solchen Entfernung vom Auge befinden, dass sein Bild genau auf die Netzhaut fällt (nicht davor noch dahinter). Diese Entfernung heisst die Sehweite und ist für gesunde Augen im Mittel etwa $= 24$ cm. Augen mit geringerer Sehweite sind kurzsichtig; die lichtbrechenden Mittel solcher Augen bewirken, dass die Bilder der Gegenstände vor die Netzhaut fallen. Augen mit grösserer Sehweite sind weitsichtig; die Bilder fallen hinter die Netzhaut. Gegen jenes Uebel (zu starke Brechung) helfen konkave, gegen dieses (zu schwache Brechung) konvexe Brillengläser.

Das Maass für die scheinbare Grösse eines Gegenstandes liefert der Sehwinkel; derselbe wird von den Linien gebildet, die man vom Auge nach den Endpunkten des Gegenstandes ziehen kann. Zur Beurtheilung der wahren Grösse des Gegenstandes muss ausser dem Sehwinkel noch die Entfernung bekannt sein, welche der Gegenstand vom Auge hat.

Zerstreuung oder Dispersion des Lichtes. Beim Durchgange eines Lichtbündels durch ein Prisma findet nicht nur, wie auf S. 99 erörtert wurde, eine Brechung, sondern auch eine Zerstreuung oder Dispersion des Lichtes statt. Lässt man z. B. in ein verfinstertes Zimmer durch einen im Fensterladen angebrachten schmalen Spalt Licht eintreten und fängt es, nachdem es durch ein Glasprisma

hindurchgegangen ist, auf einem weissen Papierschirm auf, so erscheint das Bild des Spaltes einmal gegen die ursprüngliche Richtung der Lichtstrahlen verschoben, sodann aber auch beträchtlich verbreitert. Mit dieser Verbreiterung ist das Auftreten einer Reihe von Farben verbunden, deren Gesammtheit man als Spektrum bezeichnet. Die Hauptfarben unter ihnen sind, von der brechenden Kante des Prismas aus angeführt: roth, orange, gelb, grün, blau, (indigo), violett.

Mit Hilfe einer Sammellinse oder eines in passender Lage aufgestellten zweiten Prismas können die Farben des Spektrums wieder zu weissem Licht vereinigt werden.

Somit ist das weisse Licht als zusammengesetzt zu betrachten. Durch die Brechung im Prisma tritt aus dem Grunde eine Zerlegung in die einzelnen, farbigen Bestandtheile ein, weil dieselben ungleiche Brechbarkeit besitzen. Das rothe Licht ist das am wenigsten brechbare, das violette ist am brechbarsten, grün hat mittlere Brechbarkeit. Je grösser die Brechbarkeit eines Lichtstrahls ist, um so kleiner ist seine Schwingungsdauer, um so grösser also seine Schwingungszahl und um so kleiner seine Wellenlänge.

Die Farben des Spektrums (Spektralfarben) werden auch Regenbogenfarben genannt, weil sie der Regenbogen, der durch Brechung, Reflexion und mit ersterer verbundene Dispersion des Sonnenlichtes in Regentropfen entsteht, gleichfalls aufweist.

Komplementärfarben; natürliche Farben. Zur Bildung weissen Lichtes sind nicht alle Farben des Spektrums erforderlich, sondern es genügen je zwei in nachfolgender Uebersicht unter einander stehende:

roth,	orange,	gelb,	grüngelb,	grün,
blaugrün,	cyanblau,	indigo,	violett,	(purpur),

worin die Purpurfarbe zwar nicht im Spektrum vorhanden ist, aber durch Mischung von roth und violett (z. B. mittels Prismas) erhalten werden kann.

Je zwei Farben, die zusammen weisses Licht ergeben, heissen komplementär. Sie liegen derartig im Spektrum vertheilt, dass ihre mittlere Schwingungszahl, bezw. Wellenlänge gleich derjenigen des ganzen Spektrums ist; daher ist der Eindruck, den sie zusammen hervorrufen, gleich dem Gesamteindruck des Spektrums, d. h. gleich dem des weissen Lichtes.

Blickt man einige Zeit anhaltend auf einen farbigen Gegenstand und danach schnell auf eine weisse Fläche, so nimmt man darauf ein Nachbild des Gegenstandes wahr, und zwar in der komplementären Farbe desselben.

Die natürlichen Farben der Körper (insbesondere der als Farbstoffe dienenden) kommen dadurch zu Stande, dass die Körper Licht von verschiedener Brechbarkeit einerseits reflektiren und hindurchlassen, andererseits absorbiren (vergl. S. 95), so dass von dem gesammten weissen Licht, das auf die Körper fällt,

ein Theil — mit anderer mittlerer Brechbarkeit, als sie dem weissen Licht zukommt — reflektirt bzw. hindurchgelassen wird. In der Farbe dieses reflektirten bzw. hindurchgelassenen Lichtes wird der Körper von uns geschaut.

Dass Farbstoffe, die komplementär sind, bei ihrer Mischung keine weisse Mischfarbe geben — sondern z. B. gelber und blauer Farbstoff Grün — rührt daher, dass keine natürliche Farbe rein ist; eine gelbe Flüssigkeit lässt daher ausser Gelb auch einen Theil des im Spektrum benachbarten Grün hindurch, und desgleichen eine blaue Flüssigkeit; in einer Mischung beider ist daher Grün die einzige Farbe, die beide durchlassen, während Gelb durch die blaue Flüssigkeit, Blau durch die gelbe absorbirt wird; die Mischung muss daher grün erscheinen.

Achromatische Linsen. Verschiedene Stoffe können, trotzdem sie für die mittleren Strahlen des Spektrums nahezu dasselbe Brechungsvermögen besitzen, doch ein sehr ungleiches Farbenzerstreuungsvermögen haben, so dass sie Spektren von sehr verschiedener Länge geben. Hohes Farbenzerstreuungsvermögen besitzen z. B. das (bleihaltige) Flintglas und der Schwefelkohlenstoff.

Wenn zwei Prismen oder Linsen, deren Stoffe bei nahezu gleichem mittlerem Brechungsvermögen ein sehr ungleiches Farbenzerstreuungsvermögen besitzen (z. B. Flintglas und Crownglas) mit einander vereinigt werden, so lässt es sich erreichen, dass die durchgehenden Strahlen bzw. die erzeugten Bilder keine chromatische Abweichung (farbige Säume) und damit Undeutlichkeit aufweisen. (Vergl. S. 103: achromatische Doppellinsen.)

Fluorescenz. Die meisten Körper reflektiren dieselbe Lichtsorte, welche sie hindurchlassen, so dass sie bei auffallendem und durchgehendem Lichte (beim Daraufsehen wie beim Hindurchsehen) gleich gefärbt erscheinen. Ist jenes bei einem Körper nicht der Fall, so nennt man ihn schillernd oder fluorescirend. Eine Lösung von schwefelsaurem Chinin ist, gegen das Licht gehalten, farblos durchsichtig, in auffallendem Lichte erscheint sie blau. Fluorescenz zeigt sich weiter am Steinöl oder Petroleum, an der Curcumatinktur, dem (gelben) Uranglas, gewissen Spielarten des Flussspaths u. s. w.

Von der Fluorescenz zu unterscheiden, wenngleich ihr in gewissem Grade ähnlich, ist die Erscheinung der Phosphorescenz (vgl. S. 94).

Arten der Spektren; Spektralanalyse. Werden von dem Lichte verschiedener — himmlischer oder irdischer — Lichtquellen Spektren erzeugt, so stellen sich die folgenden Unterschiede heraus:

1. Feste und flüssige Körper liefern in glühendem Zustande ein kontinuierliches (oder zusammenhängendes) Spektrum, das keinerlei Unterbrechung durch dunkle Linien zeigt.

2. Das Sonnenspektrum ist zwar auch ein kontinuierliches, aber von zahlreichen dünnen, dunklen Linien — den Fraunhofer'schen Linien — der Quere nach durchzogen.

3. Das Spektrum glühender Gase oder Dämpfe besteht aus farbigen hellen

Linien oder Streifen, die durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt sind (Linien- und Bandenspektren).

Lässt man

4. das Licht eines glühenden festen Körpers (z. B. eines weissglühenden Platindrahtes) durch einen beliebigen Körper hindurchgehen, ehe es in ein Prisma eintritt, um so ein Spektrum zu liefern, so erhält man ein verschieden geartetes Absorptionsspektrum, das bei glühenden Gasen und Dämpfen an denselben Stellen dunkle Linien und Streifen zeigt, wo das unter 3. genannte Emissionsspektrum helle farbige Linien und Streifen aufweist.

Aus dem Letztgesagten ergibt sich der Kirchhoff'sche Satz (1860), dass ein glühendes Gas (oder Dampf) die Lichtstrahlen absorbiert, die es selber aussendet. (Gleichheit des Emissions- und Absorptionsvermögens für Strahlen derselben Gattung.)

Hieraus ist zu folgern, dass die Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspektrums auf die Weise zu Stande kommen, dass das von dem festen oder flüssigen, leuchtenden Sonnenkern ausgehende Licht durch eine aus verschiedenen Gasarten zusammengesetzte Dampfatmosphäre hindurch muss, welche den Sonnenkern einhüllt.

Die unter 3. genannte Thatsache wird zur Feststellung der Natur eines Stoffes benutzt: Spektralanalyse. Es geben nämlich selbst Spuren eines Salzes, durch welches eine Flamme gefärbt ist, ein genaues Linienspektrum des Dampfes des in ihnen enthaltenen Metalls, so dass an diesem Spektrum das betreffende Metall erkennbar ist.

Unsichtbare Strahlen des Spektrums. Ausser den sichtbaren Strahlen des Spektrums giebt es noch andere, die sich theils durch eine erwärmende, theils durch eine chemische Wirkung bemerkbar machen. Sie liegen ausserhalb des sichtbaren Spektrums, und zwar die sogenannten dunklen Wärmestrahlen jenseits des rothen Endes, die chemischen Strahlen jenseits des violetten Endes. Die letzteren bewirken z. B. die im Lichte erfolgende Vereinigung von Chlor und Wasserstoff zu Chlorwasserstoff sowie die chemische Zerlegung von Chlor-, Brom- und Jodsilber unter Ausscheidung metallischen Silbers. Diese Zerlegung findet Anwendung in der Photographie.

Interferenz des Lichtes; Beugung oder Diffraktion. Interferenz des Lichtes entsteht (vergl. S. 87), wenn die Strahlen zweier benachbarter Lichtquellen zusammentreffen. Geschieht die Begegnung in einem Punkte, dessen Entfernungen von den beiden Lichtquellen (Strahlenpunkten) sich um ein Vielfaches einer ganzen Wellenlänge, oder anders gesprochen: um ein gerades Vielfaches einer halben Wellenlänge unterscheiden, so tritt eine Verstärkung des Lichtes ein; geschieht die Begegnung in einem Punkte, dessen Entfernungen von den beiden Lichtquellen sich um ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge unterscheiden, so tritt eine

Auslöschung des Lichtes ein. Es entsteht dadurch auf einem das Licht auffangenden Schirm ein System paralleler, abwechselnd heller und dunkler Streifen: Interferenzfransen. (Entdeckt wurde die Interferenz des Lichtes durch Thomas Young, 1800).

Besitzen die Lichtquellen einfarbiges (oder homogenes), d. h. solches Licht, das bei dem Durchtritt durch ein Prisma sich nicht weiter zerlegen lässt, sondern ungeändert bleibt, so ist ausser dem Unterschied von Hell und Dunkel kein weiterer zu bemerken; dagegen erscheinen Interferenzfransen, die durch weisses, also zusammengesetztes Licht hervorgerufen werden, nicht allein hell und dunkel, sondern sie sind — ausgenommen der mittelste helle Streifen — farbig gesäumt (aussen roth, innen violett), was sich aus der Verschiedenheit der Wellenlängen der verschiedenen Spektralfarben erklärt.

Geht Licht durch einen schmalen Spalt, so breiten sich die Aetherwellen seitlich aus und veranlassen das Auftreten zweier neuer, Licht aussendender Mittelpunkte an den Seiten des Spaltes (vgl. S. 88). Zwischen den beiden von ihnen ausgehenden Wellensystemen findet Interferenz statt, so dass das auf einem Schirm aufgefangene Bild des Spaltes nicht nur verbreitert erscheint, sondern zugleich von Interferenzfransen durchsetzt ist. Diese Erscheinung heisst Beugung oder Diffraktion des Lichtes. (Grimaldi, 1663.)

Eine kreisförmige Oeffnung ruft Interferenzringe hervor.

Auf Beugung beruhen z. B. die farbigen Erscheinungen, die man beim Betrachten einer Flamme durch die Fahne einer Vogelfeder oder durch eine behauchte Glasscheibe wahrnimmt. (Gitterspektren — Nobert'sche Gitter, vgl. S. 103.)

Die Farben dünner Blättchen (Seifenblasen, auf Wasser ausgebreitetes Terpentinöl, Petroleum u. s. w.) sind gleichfalls auf Interferenz zurückzuführen, welche durch die doppelte Reflexion des Lichtes von der oberen und der unteren Begrenzungsfläche der Blättchen hervorgerufen wird.

Polarisation des Lichtes. Wenn man auf einen Spiegel von schwarzem Glase (Fig. 73, S_1) einen Lichtstrahl (AB) unter einem Einfallswinkel von 55° (ABE) fallen lässt, so hat der reflektirte Strahl (BC) andere Eigenschaften als der einfallende sowie jeder gewöhnliche Lichtstrahl. Fängt man ihn nämlich auf einem zweiten Spiegel (S_2) auf, so wird er von diesem nicht in allen Lagen des Spiegels weiter reflektirt. Sind beide Spiegel einander parallel, wie in der Figur, so erfolgt Reflexion (in der Richtung CD); wird der Spiegel S_2 aber um die Richtung des Strahls BC als Achse gedreht, so dass der Einfallswinkel (BCF) stets derselbe bleibt, so unterbleibt die Reflexion, wenn der Spiegel S_2 um 90° gedreht worden ist; bei 180° Drehung ist wieder Reflexion vorhanden; bei 270° Drehung ist sie wieder aufgehoben.

Diesen Sachverhalt erkennt man, wenn man in der Richtung DC auf den Spiegel S_2 blickt, während auf S_1 in der Richtung AB ein Lichtschein fällt; bei 90° und 270° Drehung erscheint dann

der Spiegel S_2 dunkel; bei langsamem Drehen tritt die Verdunklung allmählich ein.

Man nennt einen Lichtstrahl von der geschilderten Beschaffenheit des reflektirten Strahls BC polarisirt, die geschilderte Erscheinung die Polarisation des Lichtes. (Malus, 1808.)

Dieselbe findet in folgender Annahme ihre Erklärung: Die Aetherschwingungen, welche das gewöhnliche Licht ausmachen, erfolgen — transversal (vgl. S. 87) — nach allen Richtungen, während im polarisirten Lichtstrahl die Aethertheilchen — gleichfalls transversal — nur in einer (den Lichtstrahl enthaltenden) Ebene schwingen.¹⁾ Wir nehmen ferner an, dass diese Ebene die von dem polarisirten und dem ihn erzeugenden Lichtstrahl gebildete,

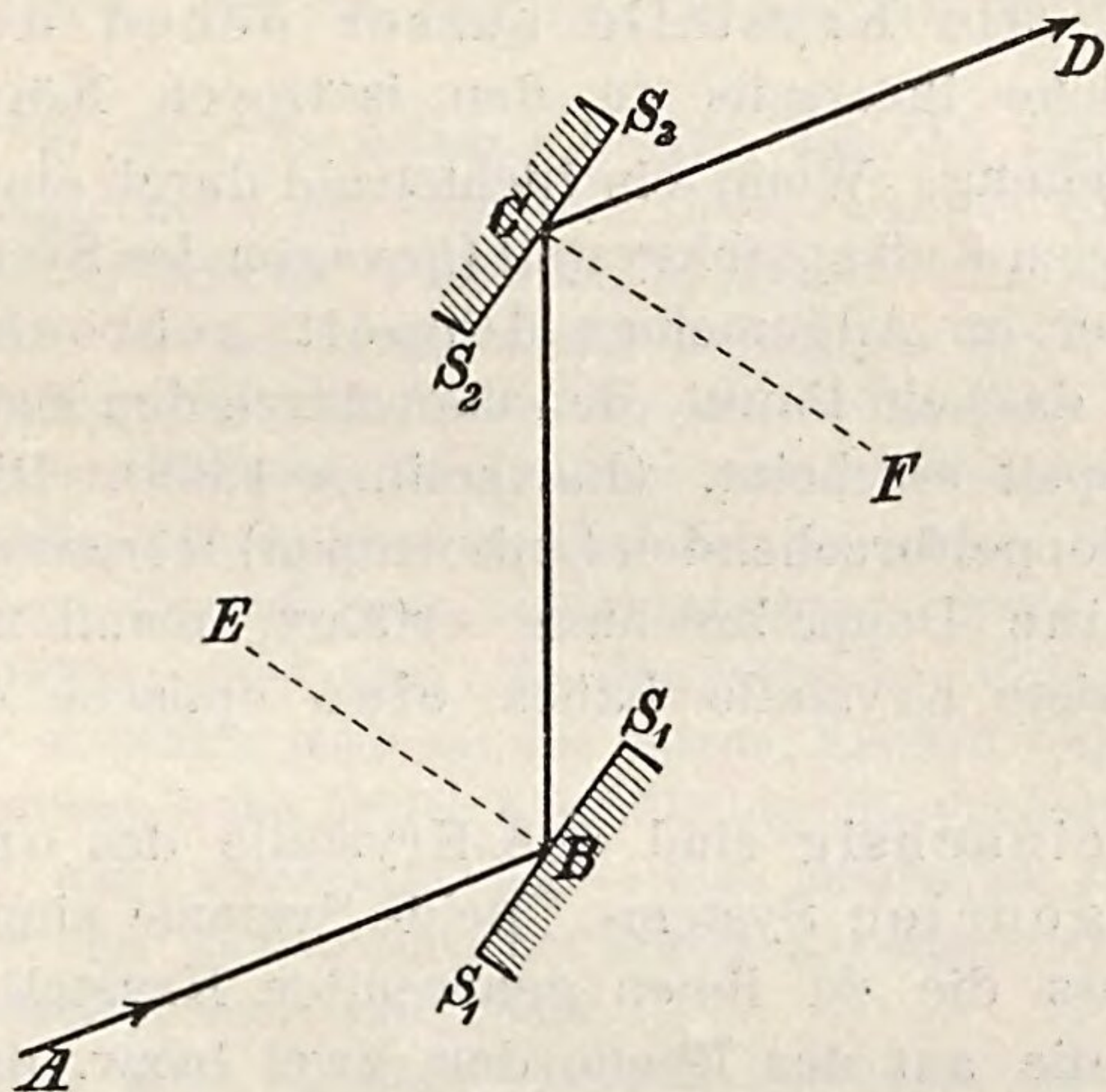


Fig. 73. Polarisation eines Lichtstrahls.

sogenannte Polarisationssebene ist (innerhalb welcher der Strahl weiter reflektirt zu werden vermag). Wenn nun der Spiegel S_2 (Fig. 73) um 90° gedreht ist, so steht die Reflexionsebene BCF zur Polarisationssebene (ABC) senkrecht. Da die Aethertheilchen des Strahls BC nur in dieser schwingen, in jener es nicht können, so kann der Strahl BC auch nicht in jener Ebene (BCF) reflektirt werden — er wird ausgelöscht.

Eine Polarisation erfolgt bei der Reflexion an Glas auch unter anderen Winkeln als dem angegebenen (von 55°), aber nur unvollständig, d. h. es tritt bei Drehung des Spiegels S_2 um 90°

¹⁾ Bei der Annahme, dass das Licht in longitudinalen Aetherschwingungen bestehe, würden die Polarisationserscheinungen vollkommen unerklärlich sein. Ein Lichtstrahl müsste sich dann nach jeder Richtung hin gleich verhalten. Die Thatsache der Polarisation zwingt also zu der Annahme, dass das Licht transversal schwingt.

nur eine Verminderung der Helligkeit, keine völlige Verdunkelung ein. Bei einer Reflexion unter einem Winkel von 90^0 erfolgt keine Polarisation. Der Winkel der vollständigen Polarisation oder Polarisationswinkel ist bei verschiedenen Stoffen verschieden.

Wie durch Reflexion, so lässt sich auch durch Brechung polarisirtes Licht gewinnen, und zwar theilweise polarisirtes durch Brechung in isotropen Körpern, d. h. Körpern, die nach allen Richtungen hin dieselben physikalischen Eigenschaften besitzen; vollständig polarisirtes Licht wird durch Brechung in anisotropen Körpern erhalten, d. h. in solchen Körpern, die in verschiedenen Richtungen verschiedene physikalische Eigenschaften aufweisen. Anisotrop sind alle Krystalle ausser denen des regulären Systems, welche ihrerseits zu den isotropen Körpern gehören.

Doppelbrechung. Wenn ein Lichtstrahl durch einen anisotropen Körper, z. B. einen Kalkspathkrystall (hexagonales System), hindurchgeht, so wird er im Allgemeinen doppelt gebrochen, was man daran erkennt, dass ein Punkt, den man durch den Kalkspathkrystall betrachtet, doppelt erscheint. (Bartholinus, 1669). Diejenigen Richtungen eines doppeltbrechenden (anisotropen) Körpers, in denen der Lichtstrahl keine Doppelbrechung erfährt, nennt man optische Achsen. Gewisse Krystalle haben eine optische Achse, andere haben zwei.

Optisch einachsig sind alle Krystalle des quadratischen und des hexagonalen Systems. Beide Systeme sind dadurch ausgezeichnet, dass die zu ihnen gehörenden Krystalle eine Hauptachse haben, die auf der Ebene der (zwei bzw. drei) gleichen und mit einander gleiche Winkel bildenden Nebenachsen senkrecht steht; mit dieser Hauptachse fällt die optische Achse zusammen.

Optisch zweiachsige Krystalle sind alle diejenigen, deren drei krystallographische Achsen verschiedene Länge besitzen, nämlich die Krystalle des rhombischen, des monoklinen und des triklinen Systems; und hier fällt mit keiner der krystallographischen Achsen eine optische Achse zusammen.

Die beiden Strahlen, in welche ein Lichtstrahl beim Durchtritt durch einen Krystall in Folge von Doppelbrechung zerlegt wird, sind stets vollständig polarisirt. Dies erkennt man daran, dass jeder der Strahlen, wenn er in ein zweites doppeltbrechendes Mittel eintritt, nicht immer eine abermalige Doppelbrechung erfährt. Folgender Versuch macht dies und die Art der Polarisierung klar:

Man legt ein Kalkspath-Rhomboëder auf ein Blatt Papier, auf welchem ein schwarzer Punkt gezeichnet ist. Dreht man den Krystall, so bleibt von den

zwei Bildern des Punktes, welche man durch ihn sieht, eins stehen, während das andere sich um jenes herumbewegt. Den Strahl, dem das erste Bild entspricht, nennt man den ordentlichen (oder ordinären), denjenigen, dem das zweite Bild entspricht, den ausserordentlichen (oder extraordinären) Strahl.

Man legt nun auf den auf dem Papier befindlichen Krystall noch einen zweiten Krystall; derselbe nimmt mit jedem der beiden durch den ersten Krystall erzeugten Bilder im allgemeinen abermals eine Zerlegung in zwei Bilder vor, so dass jetzt im ganzen vier Bilder zu sehen sind. Wird aber der obere Krystall gedreht, während man den unteren festhält, so verschwinden abwechselnd zwei von den vier Bildern, so oft die Hauptschnitte beider Krystalle, d. h. die die Hauptachse enthaltenden oder ihr parallel liegenden Ebenen, 1. zusammenfallen oder 2. rechtwinklige Stellung zu einander einnehmen.

Der Grund für diese Erscheinung ist der, dass der ordentliche Strahl in der Ebene des Hauptschnitts, der ausserordentliche Strahl in einer darauf senkrechten Ebene polarisirt ist. Fallen nun die Hauptschnitte der beiden Krystalle zusammen, so wird der ordentliche Strahl des unteren Krystalls, ohne weitere Zerlegung zu erfahren, als ordentlicher, der ausserordentliche Strahl als ausserordentlicher im oberen Krystall fortgepflanzt: zwei Bilder. Stehen die Hauptschnitte rechtwinklig zu einander, so wird der ordentliche Strahl des unteren Krystalls im oberen Krystall zum ausserordentlichen Strahl und umgekehrt: wiederum zwei Bilder. Sind aber die Hauptschnitte schiefwinklig gegen einander geneigt, so erfährt jeder der den unteren Krystall verlassenden Strahlen — da die Polarisations Ebenen beider Krystalle (der Hauptschnitt und die darauf senkrechte Ebene) nicht zusammenfallen — eine abermalige Zerlegung in zwei Strahlen, die nach dem Hauptschnitt des oberen Krystalls und der darauf senkrechten Ebene polarisirt sind: vier Bilder.

Dass in einem nicht regulären Krystall überhaupt eine Zerlegung eines Lichtstrahls in zwei, also eine Doppelbrechung stattfindet, liegt daran, dass die optische Dichte eines solchen Krystalls in verschiedenen Richtungen verschieden ist. In einer Achsenebene (sowie jeder dazu parallelen Ebene), welche nur gleichwerthige (in erster Linie: gleich lange) Achsen enthält, ist — bei regulären und optisch einachsigen Krystallen — die optische Dichte nach allen Richtungen hin die gleiche, und ein Lichtstrahl, der senkrecht zu ihr verläuft, dessen Aetherschwingungen also in irgend einer Richtung in sie hinein erfolgen, geht unzerlegt oder einfach weiter.

Nach dem Gesagten ist die Brechung für den ordentlichen und den ausserordentlichen Strahl eine verschiedenartige; für jenen erfolgt sie bei den optisch einachsigen Krystallen nach dem auf S. 98 angeführten Snellius'schen Brechungsgesetz, für diesen nach einem weniger einfachen Gesetz; bei den optisch zweiachsigen Krystallen befolgt keiner der beiden Strahlen das Snellius'sche Brechungsgesetz. Die Brechung des ausserordentlichen Strahls ist — beim Kalkspath wie bei einer Reihe anderer optisch einachsiger Krystalle — eine schwächere als die des ordentlichen Strahls; man nennt die Krystalle, bei denen dies der Fall ist, negativ. Dagegen heissen diejenigen optisch einachsigen

Krystalle positiv, bei denen der ausserordentliche Strahl stärker gebrochen wird als der ordentliche (Beispiel: Bergkrystall).

Polarisations-Apparate. Um die Eigenschaften des polarisirten Lichtes genauer zu studiren, bedient man sich der Polarisationsapparate. Dieselben sind aus zwei Haupttheilen zusammengesetzt: der polarisirenden und der analysirenden Vorrichtung; durch jene wird der polarisirte Lichtstrahl hervorgebracht, mittels dieser wird seine nähere Beschaffenheit festgestellt.

Da das Vorhandensein zweier polarisirter Strahlen Verwirrung anrichten würde, so muss, wenn die Polarisation durch Brechung bewirkt wird, einer der Strahlen beseitigt werden.

Dies geschieht z. B. durch Anwendung zweier, der Säulenachse parallel geschnittener Turmalin-Platten, die gegeneinander drehbar sind (Turmalinzange); der Turmalin absorbiert den ordentlichen Strahl fast vollständig, so dass nur der ausserordentliche Strahl hindurchgelassen wird. Hält man nun zwei gleichgeschnittene Turmalin-Platten über oder vor einander und dreht sie so lange, bis die Richtungen der Säulenachsen rechtwinklig zu einander stehen, so geht gar kein Licht hindurch: die Turmalin-Platten erscheinen schwarz.

Auf andere Weise wird der ordentliche Strahl im Nicol'schen Prisma (1828) beseitigt. Ein länglicher Kalkspathkrystall (Fig. 74), dessen Endflächen so zugeschliffen werden, dass sie mit den Seitenflächen Winkel von 68° bilden, wird rechtwinklig zu den

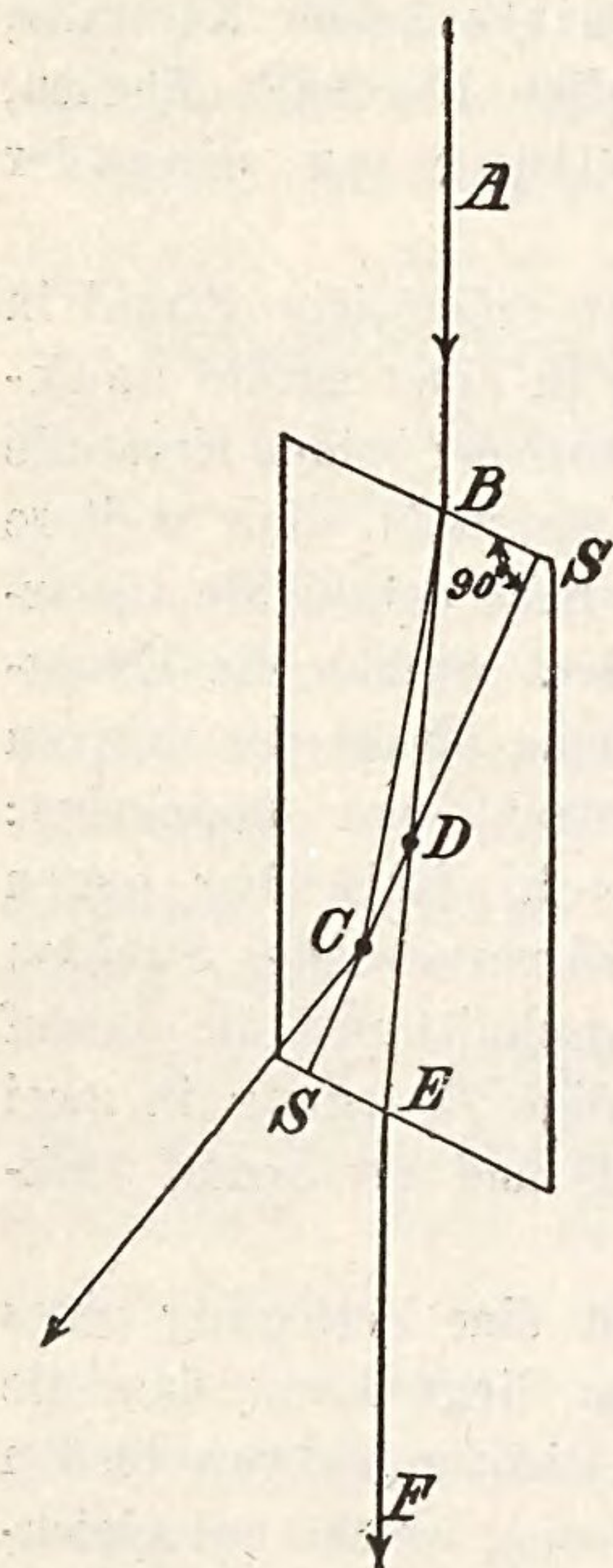


Fig. 74. Nicol'sches Prisma.

neuen Endflächen (in der Richtung SS) durchschnitten, und die beiden Stücke des Krystalls werden längs der Schnittflächen durch eine Schicht von Kanadabalsam wieder zusammengekittet. Trifft nun ein Lichtstrahl (AB) parallel der Längsrichtung des so entstandenen vierseitigen Prismas auf eine der Endflächen, so wird er durch Doppelbrechung in den ordentlichen Strahl BC und den ausserordentlichen Strahl BD zerlegt. In Folge der eigenartigen Wahl der Schnittfläche (SS) wird der erstere (BC) von der Balsamschicht total reflektirt und tritt aus dem Krystall bzw. Prisma seitlich aus, während der ausserordentliche Strahl (BD), der senkrecht zum Hauptschnitt polarisirt ist, durch die Balsamschicht hindurchgeht

und in der Richtung EF , parallel zu AB , austritt. Der letztere Strahl wird als polarisirtes Licht benutzt.

Durch Verbindung zweier Nicol'scher Prismen (zweier „Nicol's“) erhält man einen Polarisationsapparat, der ähnlich einer Turmalinzange wirkt. Hat der zweite Nicol dieselbe Richtung wie der erste, so durchdringt das aus dem ersten kommende Licht den zweiten, und der letztere erscheint hell; wird aber der zweite Nicol um 90° gedreht, so dass die Hauptschnitte beider rechtwinklig zu einander stehen, so geht das Licht durch den zweiten Nicol nicht hindurch, und der letztere erscheint dunkel.

Der erste — vordere — Nicol heisst der Polarisator, der zweite — hintere — der Analysator.

Polarisations-Erscheinungen. Bringt man eine sehr dünne Platte eines optisch einachsigen oder auch zweiachsigen Krystalls, welche so geschnitten oder gespalten ist, dass die optische Achse, bzw. die beiden optischen Achsen in der Schnittebene liegen, zwischen Polarisator und Analysator eines Polarisationsapparats, so dass also polarisirtes Licht (vom Polarisator erzeugt) durch die Krystallplatte hindurchgeht und danach durch den Analysator betrachtet wird, so erscheint die Krystallplatte im Allgemeinen gefärbt. Die Farbe hängt von der Dicke der Platte ab und ändert sich, je nachdem die Krystallplatte selbst oder der Analysator gedreht wird. — Besonders geeignet zu dem genannten Versuche ist der Gips.

Wendet man eine keilförmig geschnittene Gipsplatte an, so treten parallele Streifen auf, die verschieden gefärbt sind — nach der Art der Farben dünner Blättchen (S. 108). Dieser Umstand deutet darauf hin, dass die Erscheinung auf Interferenz zurückzuführen ist, welche sich zwischen zwei Strahlen einstellt, in die der polarisirte Lichtstrahl beim Eintritt in den Krystall zerlegt wird. Ist das Licht, welches durch den Gipskeil geht, nicht das gewöhnliche weisse, sondern einfarbiges Licht, so zeigen die parallelen Streifen nur einen Unterschied zwischen hell und dunkel.

Wird aus einem optisch einachsigen Krystall, z. B. Kalkspath, eine Platte senkrecht zur optischen Achse (die zugleich krystallographische Hauptachse ist) geschnitten, so gehen parallel zu dieser Achse verlaufende Lichtstrahlen durch die Platte im Allgemeinen wie durch ein unkrystallisirtes (isotropes) Mittel hindurch.

Konvergent gemachte polarisirte Lichtstrahlen (z. B. solche, die durch eine Sammellinse hindurchgegangen sind) verhalten sich anders: sie erzeugen in der durch ein analysirendes Nicol'sches Prisma betrachteten Krystallplatte ein System konzentrischer Farbenringe, welche von einem hellen oder schwarzen Kreuz durchschnitten sind; von jenem, wenn die Polarisations Ebenen von Polarisator und Analysator zusammenfallen, von diesem, wenn beide sich rechtwinklig schneiden. Dieses Kreuz entspricht den — in der Mitte des Lichtbündels — parallel verlaufenden Strahlen. Die Farbenringe entstehen durch Interferenz.

Wird der Analysator um 90° gedreht, so geht jede Farbe in ihre Komplementärfarbe über, und das Kreuz erscheint statt hell dunkel oder umgekehrt.

Bei Anwendung einfarbigen Lichtes fehlen die Farben, in dem Ringsystem nebst Kreuz treten bloss Unterschiede von hell und dunkel auf.

Optisch zweiachsige Krystalle liefern, senkrecht zur Halbirungslinie des von den optischen Achsen gebildeten Winkels zurechtgeschnitten, ein doppeltes, den beiden optischen Achsen entsprechendes Ringsystem.

Drehung der Polarisations-Ebene. Eine besondere Erscheinung beobachtet man am Bergkrystall, wenn man aus demselben eine Platte senkrecht zur optischen Achse geschnitten hat und durch dieselbe, nachdem man sie zwischen Polarisator und Analysator eines Polarisationsapparats gebracht hat, entweder parallele oder konvergente Lichtstrahlen hindurchgehen lässt.

Nehmen wir den Fall des konvergenten Lichtes. Die Polarisations-ebenen von Polarisator und Analysator seien vor der Benutzung der Krystallplatte rechtwinklig gekreuzt. Dann erscheint die Mitte des Gesichtsfeldes, das sonst eine ähnliche Farbenerscheinung nebst schwarzem Kreuz wie beim Kalkspath darbietet, nicht völlig dunkel, sondern farbig.

Bei Anwendung einfarbigen Lichtes erscheint die Mitte des Gesichtsfeldes gleichfalls nicht völlig dunkel, sondern erst dann tritt gänzliche Auslöschung des Lichtes ein, wenn der Analysator um eine gewisse Winkelgrösse — nach rechts oder nach links — gedreht wird. Da nun erst die Polarisations-ebenen von Polarisator und Analysator rechtwinklig gekreuzt sind, so waren sie es vor der Drehung nicht. Sie waren es aber ursprünglich, ehe die Krystallplatte sich zwischen beiden Nicols befand. Demnach ist die Polarisations-ebene des vom Polarisator kommenden polarisirten Lichtes beim Durchgange desselben durch die Krystallplatte in ihrer Richtung verändert, aus ihrer ursprünglichen Richtung herausgedreht worden, oder kurz: der Bergkrystall hat die Polarisations-ebene gedreht. Manche Bergkrystall-Sorten drehen die Polarisations-ebenen nach rechts, manche nach links.

Die rechtsdrehenden erfordern bei Anwendung weissen Lichtes, dass der Analysator nach rechts — wie der Zeiger der Uhr — gedreht werde, wenn die farbige Mitte des Gesichtsfeldes aus Roth in Gelb, Gelb in Grün, Grün in Blau und Blau in Violett sich verändern soll; die linksdrehenden erfordern für den gleichen Zweck die entgegengesetzte Drehung.

Wie der Bergkrystall verhalten sich auch die Lösungen der weinsauren und traubensauren Salze. Die Weinsäure und ihre Salze sind rechtsdrehend, die Traubensäure und ihre Salze linksdrehend. Durch Zusammenkrystallisiren der Salze beider Säuren erhält man neutraltraubensaure Salze, deren Lösungen die Polarisations-ebene nicht drehen. Ihre Krystalle haben keine hemiëdrische Beschaffenheit, während das bei den weinsauren und traubensauren Salzen und ebenso

bei den verschiedenen Bergkrystall-Sorten der Fall ist. Die Hemiëdrie bei rechts- und linksdrehenden Krystallen (gleicher Zusammensetzung) ist eine unsymmetrische oder asymmetrische, d. h. ein rechtsdrehender und ein linksdrehender Krystall verhalten sich zu einander wie ein Gegenstand und sein Spiegelbild (enantio-morphe Formen). van't Hoff und Le Bel erklärten dementsprechend die Erscheinung des Rechts- und Linksdrehens der Polarisationssebene durch die Annahme, dass die betreffenden chemischen Verbindungen zwei oder mehrere asymmetrische Kohlenstoffatome enthalten, d. h. Kohlenstoffatome von der Gestalt eines Tetraëders, an dessen vier Ecken vier verschiedene Radikale sich befinden, in welchem Falle es keine Symmetrieebene giebt. (1874.)

Die Polarisationssebene drehen ferner viele ätherischen Oele und die Lösungen der verschiedenen Arten des Zuckers; Rohrzucker ist rechts-, Traubenzucker linksdrehend.

Saccharimeter. Der Drehungswinkel (die Grösse der Drehung der Polarisationssebene) wächst mit der Dicke der drehenden Krystallplatte bzw. mit der Koncentration der drehenden Lösung.

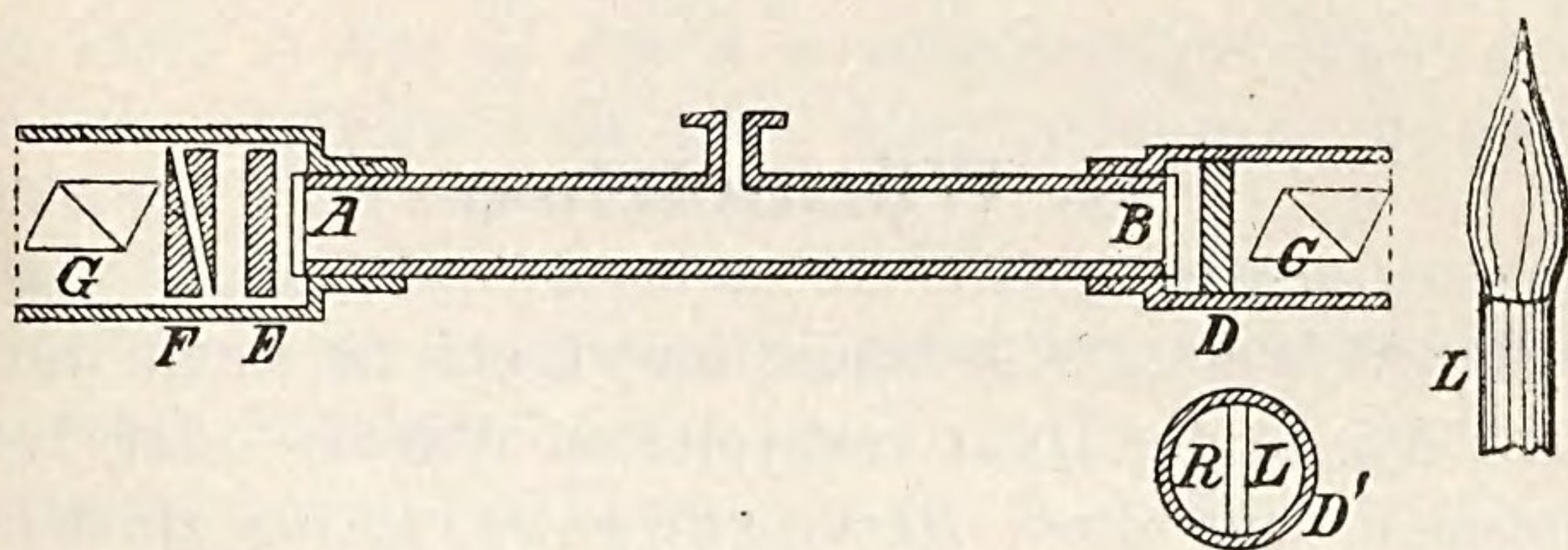


Fig. 75. Saccharimeter.

Daher giebt der Drehungswinkel einen Maassstab für die Koncentration einer Lösung ab. Man benutzt diesen Umstand zur Bestimmung des Gehalts von Zuckerlösungen; die dabei Verwendung findenden Apparate heissen Saccharimeter.

Das Saccharimeter von Soleil (1847) hat folgende Einrichtung (Fig. 75):

Die zu untersuchende Zuckerlösung wird in die an den Enden durch ebene Glasplatten geschlossene Röhre AB gefüllt. Das Licht gelangt von der Lichtquelle L aus durch das Nicol'sche Prisma C und die Quarzplatte D in die Röhre. Durch das Nicol'sche Prisma wird es polarisirt; die Quarzplatte D besteht, wie D' zeigt, aus zwei halbkreisförmigen Quarzstücken: einem rechtsdrehenden und einem linksdrehenden; die Dicke beider Quarzstücke ist eine derartige, dass jedes zwischen den gekreuzten Nicols C und G (bei Ausschluss der Zuckerlösung) genau die gleiche, dunkel-violett-röthliche Farbe, die sogenannte Uebergangsfarbe, darbietet. Bei A verlässt das Licht die Röhre und geht 1. durch die rechtsdrehende Quarzplatte E, 2. die aus zwei keilförmig geschliffenen Stücken

zusammengesetzte linksdrehende Quarzplatte F und 3. das als Analysator dienende Nicol'sche Prisma G ins Auge. Die Dicke der Quarzplatte F ist dadurch veränderlich, dass die beiden Quarzkeile, aus denen sie besteht, sich durch eine Mikrometerschraube an einander verschieben lassen. Stimmen die Platten E und F in der Dicke überein, so heben sich ihre drehenden Wirkungen gleichzeitig auf, und beide Hälften der Platte D bieten, wenn AB keine Flüssigkeit enthält, die Uebergangsfarbe dar.

Wird nun die Flüssigkeit eingeschaltet, so giebt sich das geringste Drehungsvermögen derselben dadurch kund, dass die beiden Hälften der Platte D ungleich gefärbt erscheinen: die eine blau, die andere roth. Durch Drehung an der Mikrometerschraube verändert man jetzt die Dicke der Quarzplatte F , bis die Uebergangsfarbe (in beiden Hälften von D) wieder hergestellt ist. Die Grösse der Drehung ist dem Procentgehalt der Lösung proportional.

11. Wärmelehre.

Natur der Wärme. Wie Schall und Licht ist auch die Wärme, die wir durch den in der Haut verbreiteten Wärme- oder Temperatursinn wahrnehmen, auf einen Bewegungsvorgang zurückzuführen. Man denkt sich denselben als eine Bewegung der Körpermoleküle, und zwar erfolgt dieselbe bei festen Körpern in Form regelmässiger Schwingungen um eine feste Gleichgewichtslage; bei flüssigen Körpern fehlt die letztere, aber die Moleküle entfernen sich doch nicht über eine gewisse Grenze hinaus; bei allen luftförmigen Körpern endlich bewegen sich die Moleküle geradlinig fort oder führen kreisende Bewegungen aus, nur gehemmt durch den Zusammenstoss und die in Folge dessen stattfindende Zurückwerfung an anderen Molekülen oder an begrenzenden Wänden.

Diese Vorstellungen gründen sich vor allem auf die Thatsache der Umwandlung von mechanischer Arbeit in Wärme und umgekehrt. (Siehe später.)

Die verschiedenen Grössen der Wärme unterscheiden wir als höhere und niedrigere Wärmegrade oder Temperaturen.

Werden Körper von verschiedener Temperatur in Berührung gebracht, so gleichen sich ihre Temperaturen allmählich aus: es vollzieht sich ein Uebergang von Wärme von dem wärmeren zu dem weniger warmen Körper.

Kälte ist nichts wesentlich anderes als Wärme, sondern nur ein niedriger Grad der letzteren. Wir bezeichnen einen Gegen-

stand oder Stoff als kalt, wenn er uns Wärme in grösserer oder geringerer Menge entzieht, bezw. zu entziehen im Stande ist.

Ausdehnung durch die Wärme. Eine Hauptwirkung der Wärme ist die, dass sie die Körper ausdehnt oder genauer: dass ein Körper, dem Wärme zugeführt wird, sein Volum vergrössert, ein Körper, dem Wärme entzogen wird, sein Volum verkleinert.

Von festen Körpern werden die Metalle besonders stark ausgedehnt. (Zwischen den hinter einander liegenden Eisenbahnschienen werden kleine Zwischenräume gelassen, damit sie bei der in Folge von starker Erwärmung im Sommer eintretenden Ausdehnung sich nicht verwerfen, d. h. sich krümmen und seitlich heraustreten, oder aber zersprengt werden; die Bolzen eines Plätt-eisens müssen kleiner sein als dessen Höhlung, damit sie im rothglühenden Zustande hineinpassen.)

Werden spröde Körper, z. B. Glas, einem schnellen Temperaturwechsel ausgesetzt, so zerspringen sie, was darin seinen Grund hat, dass die neue Temperatur, sei sie nun höher oder niedriger, nicht von allen Körpertheilen gleichmässig angenommen wird, so dass sie sich in verschiedenartiger Weise ausdehnen oder zusammenziehen. Je dünner ein Glas, desto geringer ist die Gefahr des Zerspringens in Folge von Temperaturwechsel.

Um einen festsitzenden Glasstöpsel zu lockern, erwärmt man den Flaschenhals, weil sich dadurch der Flaschenhals ausdehnt, während der noch kalt bleibende Stöpsel sein Volum beibehält.

Kompensationspendel der Uhren.

Flüssige Körper werden durch die Wärme stärker ausgedehnt als feste; besonders zeichnen sich in dieser Hinsicht Aether, Schwefelkohlenstoff, Benzin und Petroleum aus. Gefässe, die derartige Flüssigkeiten enthalten, dürfen daher nicht ganz gefüllt sein, da sonst bei einer Temperaturzunahme die Gefässe leicht zersprengt werden.

Eine Ausnahme hinsichtlich der Ausdehnung durch die Wärme macht das Wasser. Es zieht sich bei Erwärmung von 0° auf 4° C. zusammen, worauf es sich bei weiterer Temperaturzunahme wieder mit wachsender Geschwindigkeit ausdehnt.

Am stärksten werden die Gase durch die Wärme ausgedehnt. Lässt man eine Flasche mit langem dünnen Halse mit der Oeffnung in Wasser eintauchen und erwärmt den Bauch der Flasche, so entweicht ein Theil der in der Flasche enthaltenen Luft und steigt in Blasenform im Wasser auf. Hält man mit der Erwärmung an, so zieht sich die Luft in der Flasche zusammen und das Wasser steigt in Folge des äusseren Luftdrucks in dem Halse der Flasche empor, indem es den Raum der zuvor entwichenen Luft einnimmt.

Ausdehnungskoeffizient. Die Grösse der Ausdehnung eines Körpers durch die Wärme giebt der sogenannte Ausdehnungskoeffizient an. Bei festen Körpern unterscheidet man einen linearen und einen kubischen Ausdehnungskoeffizienten, bei flüssigen und gasförmigen Körpern kann nur von einem kubischen Ausdehnungs-

koefficienten die Rede sein. — Der lineare Ausdehnungskoeffizient ist das Verhältniss der Längenzunahme bei Temperaturerhöhung um 1° C. zur ursprünglichen Länge; der kubische Ausdehnungskoeffizient ist das Verhältniss der Volumzunahme bei Temperaturerhöhung um 1° C. zum ursprünglichen Volum. — Der kubische Ausdehnungskoeffizient fester Körper ist gleich dem dreifachen linearen.

Der lineare Ausdehnungskoeffizient des Eisens ist $= 0,000\,0123$. Der kubische Ausdehnungskoeffizient des Olivenöls ist $= 0,0008$, der des Quecksilbers $= 0,00018$.

Gay-Lussac'sches Gesetz. Die Gase haben alle denselben Ausdehnungskoeffizienten; oder mit anderen Worten: alle Gase werden durch die Wärme gleich stark ausgedehnt. (Gay-Lussac'sches Gesetz; 1802.)

Der Ausdehnungskoeffizient ist $= 0,003665$ oder $\frac{1}{273}$; man bezeichnet ihn mit α .

Ist das Volum eines Gases bei $0^{\circ} = v_0$, so ist es bei t° :

$$v_t = v_0 + v_0 \alpha t = v_0 (1 + \alpha t) \dots (1).$$

Bezeichnet man den äusseren Druck, unter dem das Volum v_t steht, der derselbe wie der für das Volum v_0 ist, mit p_0 und bringt durch vermehrten Druck das Gas auf sein Volum bei 0° zurück, so ist, wenn dieser neue Druck, unter dem jetzt das Volum v_0 bei der Temperatur t° steht, p_t genannt wird, nach dem Mariotte'schen Gesetz:

$$p_t : p_0 = v_t : v_0 = v_0 (1 + \alpha t) : v_0 = 1 + \alpha t, \\ \text{oder: } p_t = p_0 (1 + \alpha t) \dots (2).$$

Hieraus und aus Formel (1) folgt, da die innere Spannung eines Gases gleich dem äusseren Druck ist, unter dem es steht: Wenn eine bestimmte Menge Gas bei gleichbleibendem Volum auf eine bestimmte Temperatur erhitzt wird, so nimmt die innere Spannung in demselben Verhältniss zu, wie bei gleichbleibendem äusseren Druck (bezw. innerer Spannung) das Volum zunehmen würde.

Abnahme der Dichtigkeit bei Erwärmung. Da mit Erhöhung der Temperatur das Volum der Körper sich vergrössert, ihre Masse und somit ihr absolutes Gewicht aber dasselbe bleibt, so muss ihr specifisches Gewicht oder ihre Dichtigkeit abnehmen.

Hiervon macht das Wasser (nach S. 117) zwischen 0° und 4° C. eine Ausnahme. Da dasselbe sich, von 0° auf 4° erwärmt, zusammenzieht und erst danach wieder ausdehnt, so hat es bei $+4^{\circ}$ C. seine grösste Dichtigkeit. — Daher hat in allen tieferen

Gewässern das unten (auf dem Boden) befindliche Wasser eine Temperatur von $+4^{\circ}$ C.

Thermometer. Zur Messung der Temperaturen bedient man sich des Thermometers. Die Anwendung desselben gründet sich einerseits auf die Thatsache, dass die Temperaturzustände sich berührender Körper sich ausgleichen, andererseits auf die Erfahrung, dass die Körper durch die Wärme ausgedehnt werden.

Bei den gewöhnlich gebrauchten Thermometern wird der Grad der Erwärmung an der Ausdehnung einer in einer Glasröhre eingeschlossenen Flüssigkeit gemessen. Diese Flüssigkeit ist entweder Quecksilber oder blau oder roth gefärbter Weingeist (Alkohol). Das Gefäß ist eine luftleer gemachte enge Glasröhre, welche unten in eine Kugel (oder ein Gefäß von anderer Form) ausläuft, oben verschlossen und überall gleich weit ist.

Die Entfernung der Luft geschieht auf die Weise, dass man die Röhre, nachdem sie mit Quecksilber gefüllt worden ist, soweit erhitzt, dass der Inhalt überläuft, und sie dann schnell zuschmilzt. Ob die Röhre überall gleich weit ist, erkennt man daran, dass ein Quecksilbertropfen, den man (vor der Füllung des Thermometers) in die Röhre hineingebracht hat und in derselben hin- und herlaufen lässt, überall dieselbe Länge aufweist.

An der Glasröhre ist eine Gradeintheilung oder Skala angebracht, nach deren Einrichtung und Beschaffenheit drei Arten von Thermometern unterschieden werden: das Celsius'sche (C.), das Réaumur'sche (R.) und das Fahrenheit'sche (F.). (Celsius, Schwede, 1742; Réaumur, Franzose, 1730; Fahrenheit, Deutscher, 1714.) Das Celsius'sche Thermometer ist in der Wissenschaft allgemein in Gebrauch, in Frankreich auch im gewöhnlichen Leben; in Deutschland ist das Réaumur'sche Thermometer im gewöhnlichen Gebrauch, während die Engländer nach Fahrenheit zählen.

Jede Thermometer-Skala hat als feste Punkte oder Fundamentalpunkte den Gefrierpunkt und den Siedepunkt des Wassers. An jenem steht die obere Grenze der Flüssigkeit, wenn das Thermometer in schmelzenden Schnee oder schmelzendes Eis, an diesem, wenn das Thermometer in die Dämpfe siedenden Wassers gehalten wird. Sowohl schmelzender Schnee (bezw. Eis) wie die Dämpfe siedenden Wassers haben gleichbleibende oder konstante Temperaturen.

Der Abstand der beiden genannten Fundamentalpunkte, der Fundamentalabstand der Thermometerskala, wurde von Celsius in 100, von Réaumur in 80, von Fahrenheit in 180 gleiche Theile getheilt; jeder Theil heisst ein Grad. (Somit ist ein Grad des

Celsius'schen Thermometers der hundertste Theil des Abstandes zwischen dem Gefrierpunkt und dem Siedepunkt des Wassers.)

Den Gefrierpunkt des Wassers (auch Eispunkt genannt) bezeichneten Celsius und Réaumur als Nullpunkt der Skala, während Fahrenheit den Nullpunkt 32° unter dem Gefrierpunkt des Wassers festsetzte; er glaubte, in diesem die tiefste überhaupt vorkommende Temperatur gefunden zu haben; es war diejenige, welche durch eine bestimmte Mischung von Schnee und Salmiak erzielt wird. — Das Sieden (oder Kochen) des Wassers erfolgt nach dem Gesagten nach Celsius bei 100° , nach Réaumur bei 80° und nach Fahrenheit bei 212° über Null. (Vergl. Fig. 76.)

Die Grade über dem Nullpunkt werden als Wärme- oder besser Plusgrade, die Grade unter dem Nullpunkt als Kälte- oder besser Minusgrade bezeichnet.

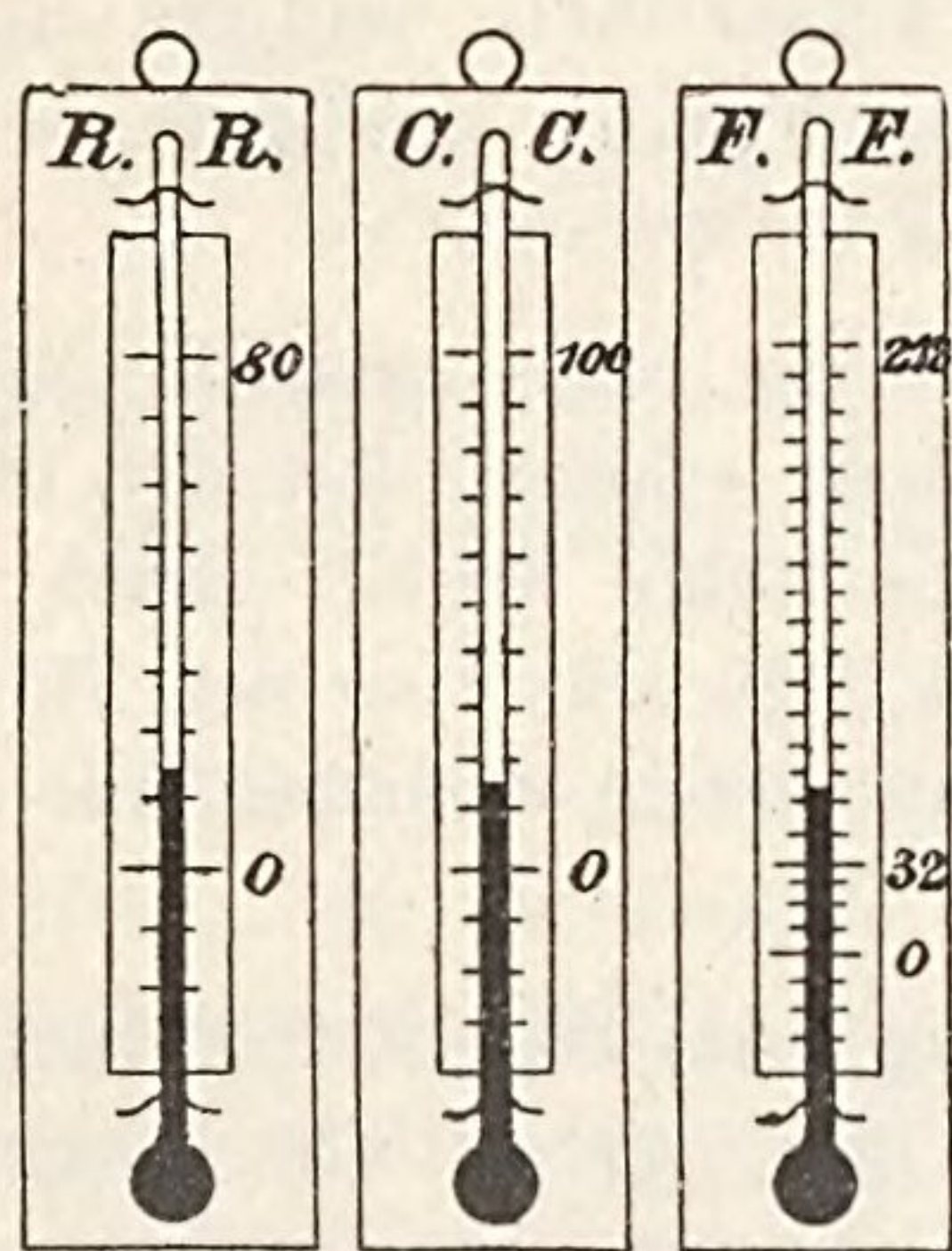


Fig. 76. Thermometer.

Da Quecksilber bei -39° C. fest wird oder gefriert, so muss zur Messung niedrigerer Temperaturen ein Weingeist-Thermometer benutzt werden, während für hohe Temperaturen ein Quecksilber-Thermometer anzuwenden ist, da Weingeist bei $+78^{\circ}$ C. siedet. Temperaturen über dem Siedepunkt des Quecksilbers ($+360^{\circ}$ C.) misst man mit einem Pyrometer (Platinstange, deren

lineare Ausdehnung durch ein Zeigerwerk angegeben wird) oder mit dem Luftthermometer (siehe unten).

Da 100° C. = 80° R. und somit 5° C. = 4° R. sind, so verwandelt man Réaumur'sche Grade in Celsius'sche, indem man erstere mit $\frac{5}{4}$ multiplicirt, und Celsius'sche in Réaumur'sche, indem man erstere mit $\frac{4}{5}$ multiplicirt.

Um Fahrenheit'sche Grade (180° F. = 100° C. = 80° R. oder 9° F. = 5° C. = 4° R.) in Celsius'sche bzw. Réaumur'sche zu verwandeln, muss man, da der Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers 32° F. unter dem der beiden anderen liegt, zuerst 32 subtrahiren und dann den Rest mit $\frac{5}{9}$ bzw. $\frac{4}{9}$ multipliciren. — Umgekehrt werden Celsius'sche bzw. Réaumur'sche Grade in Fahrenheit'sche verwandelt, indem man sie mit $\frac{9}{5}$ bzw. $\frac{9}{4}$ multiplicirt und zu der erhaltenen Zahl 32 addirt.

Das Luftthermometer besteht aus einem kugelförmigen, mit Luft gefüllten Gefäss, das mit einem U-förmig gebogenen, offenen Rohre in Verbindung

steht. In letzteres ist Quecksilber gefüllt, durch welches die Luft in dem Gefässe abgesperrt wird. Man richtet durch einen unten an dem Rohre angebrachten Hahn den Stand des Quecksilbers so ein, dass bei 0° das Quecksilber in beiden Schenkeln des Rohres gleich hoch steht. Dann ist die Spannung der Luft im Gefässe gleich dem äusseren Luftdruck, d. h. $= 1$ Atmosphäre (760 mm). Wird nun das Thermometer z. B. um t° erwärmt, so dehnt sich die Luft im Gefässe aus, und das Quecksilber steigt im offenen Schenkel des Rohres in die Höhe; durch Nachfüllen von Quecksilber wird die Luft auf ihr voriges Volum zusammengepresst. Steht das Quecksilber im offenen Schenkel um h mm höher als in dem zum Gefässe führenden, so ist nach S. 118 Formel (2): $760 + h = 760(1 + \alpha t)$, woraus t leicht berechnet werden kann.

Maximum- und Minimum-Thermometer. Namentlich für Witterungsbeobachtungen ist es erwünscht, die höchste und niedrigste Temperatur innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes, z. B. eines Tages, kennen zu lernen. Zur Ermittlung derselben dient das Maximum- und Minimum-Thermometer. Dasselbe besteht aus zwei horizontal liegenden Thermometern, deren eins mit Quecksilber, deren anderes mit Weingeist gefüllt ist. Die Röhre des Quecksilber-Thermometers enthält einen feinen Stahlstift, der seitens des Quecksilbers keine Benetzung erfährt und daher von diesem mit vorgeschoben wird, wenn es sich in Folge einer Temperaturzunahme ausdehnt, aber liegen bleibt, wenn es sich in Folge einer Temperaturabnahme zusammenzieht. Die Röhre des Weingeist-Thermometers enthält ein dünnes Glasstäbchen, mit dem das Umgekehrte geschieht: es wird von dem Weingeist, der es benetzt, in Folge von Adhäsion mit zurückgezogen, wenn sich der Weingeist zusammenzieht, dagegen bleibt es liegen, wenn der Weingeist sich ausdehnt, indem dieser dann darüber hinfließt. Hieraus geht hervor, dass der Stahlstift die Stelle des stattgehabten Maximums der Temperatur, das Glasstäbchen die des Minimums anzeigen muss.

Hohe Hitzegrade. Einen Anhalt für ungefähre Schätzungen höherer Temperaturen giebt die Farbe, welche die Körper (vor allen das Eisen) bei denselben annehmen. Man unterscheidet die dunkle Rothglühhitze (Kirschrothglühhitze) — bei etwa 500° C., die helle Rothglühhitze — bei etwa 700° C. und die Weissglühhitze — bei etwa 1000° C.

Absolute Temperatur. Wenn in der S. 118 gegebenen Gleichung (2):

$$p_t = p_0(1 + \alpha t),$$

worin α den Werth $\frac{1}{273}$ hat, $t = -273^\circ$ C. ist, so wird $p_t = 0$, d. h. die Gase besitzen bei dieser Temperatur keine innere Spannung mehr, bzw. sie erleiden keinen äusseren Druck. Die Temperatur -273° C. nennt man den absoluten Nullpunkt der Temperatur und die von ihm aus gerechnete Temperatur $T = 273 + t$ (worin t Celsiusgrade bedeutet) die absolute Temperatur. Bei Anwendung derselben nimmt die obige Gleichung folgende Form an:

$$p_t = \frac{p_0 T}{273} \text{ und die Gleichung (1) S. 118: } v_t = \frac{v_0 T}{273}.$$

Hiernach lässt sich das Gay-Lussac'sche Gesetz folgendermaassen aussprechen: Bei gleichbleibendem Druck ist das Volum eines Gases (und bei gleichbleibendem Volum der Druck) proportional der absoluten Temperatur.

Aenderung des Aggregatzustandes. Die zweite Hauptwirkung der Wärme — nächst der Ausdehnung der Körper — ist die Aenderung des Aggregatzustandes.

Die meisten festen Körper gehen in Folge von fortschreitender Erwärmung, sofern sie dadurch keine chemische Veränderung erfahren, bei einer für jeden Körper bestimmten Temperatur in den flüssigen Aggregatzustand über. Dieser Vorgang wird als Schmelzen bezeichnet, und die Temperatur, bei welcher sich dasselbe vollzieht, heisst der Schmelzpunkt des Körpers.

Wird der verflüssigte Körper bis unter den Schmelzpunkt abgekühlt, so wird er wieder fest: er erstarrt oder gefriert.

Bei manchen festen Körpern findet, ehe sie schmelzen, ein Erweichen statt. (Eisen, Glas, Harz, Fette.)

Der Schmelzpunkt der Metall-Legirungen liegt meistens tiefer als der ihrer Bestandtheile. Die auffallendsten Beispiele bilden das Rose'sche Metall (Wismuth, Blei und Zinn) und das Wood'sche Metall (Kadmium, Wismuth, Blei und Zinn), deren Schmelzpunkte $+94^{\circ}$ C. und $+66$ bis 70° C. sind.

Im Allgemeinen stellt sich beim Schmelzen eine Volum-Vergrösserung ein, so dass die Körper im flüssigen Zustande specifisch leichter sind als im festen. Eine Ausnahme hiervon machen das Wasser und das Wismuth. Daher schwimmt Eis auf Wasser, und Gefässe, die vollständig mit Wasser gefüllt sind, werden beim Gefrieren desselben zersprengt.

Flüssige Körper gehen bei zunehmender Wärme in steigendem Maasse in den gasförmigen Zustand über; in diesem Zustand heissen sie Dämpfe. Erfolgt die Dampfbildung oder Verdampfung nur an der Oberfläche (und allmählich), was schon bei gewöhnlicher Temperatur geschieht, so heisst sie Verdunstung; erfolgt sie auch im Innern, was für jeden Körper bei bestimmter, gleichbleibender Temperatur geschieht, so bezeichnet man sie als Sieden oder Kochen.

Der Verdunstung, d. h. der Verwandlung in den gasförmigen Zustand an der Oberfläche und bei beliebiger Temperatur, unterliegen auch in mehr oder minder hohem Grade die festen Körper.

Je gesättigter der über einer Flüssigkeit befindliche Raum mit dem Dampfe der Flüssigkeit ist, d. h. je mehr von diesem Dampfe er enthält, desto schwächer verdunstet die Flüssigkeit. Durch Fortschaffung des Flüssigkeitsdampfes (z. B. durch Blasen, Fächeln oder Schwenken) wird die Verdunstung beschleunigt.

Die Zurückverwandlung eines Dampfes in eine Flüssigkeit heisst Verdichtung oder Kondensation.

Das Sieden einer Flüssigkeit ist vom äusseren Drucke abhängig, findet also unter verschiedenem Drucke bei verschiedener Temperatur statt; und zwar siedet eine Flüssigkeit unter irgend einem Drucke bei derjenigen Temperatur (Siedetemperatur), bei welcher die innere Spannung ihres Dampfes (die ja mit steigender Temperatur zunimmt — S. 118) dem auf ihr lastenden Drucke gleich ist. Je geringer also der äussere Druck — desto niedriger die Siedetemperatur; je grösser der Druck — desto höher die Siedetemperatur.

Auf hohen Gebirgen und unter der Luftpumpe tritt das Sieden des Wassers bei niedrigerer Temperatur als in der Ebene und im luftgefüllten Raume (100° C.) ein. In einem fest verschlossenen Gefässe siedet eine Flüssigkeit (wegen der zunehmenden Spannung der sich über ihr bildenden Dämpfe) erst bei höherer Temperatur als in einem offenen Gefäss. (Papin'scher Topf.)

Destillation. Eine unreine Flüssigkeit, die z. B. irgend welche Stoffe (Salze u. s. w.) gelöst enthält, kann dadurch gereinigt werden, dass man sie ins Sieden bringt und die sich entwickelnden Dämpfe durch Abkühlung wieder zu Flüssigkeiten verdichtet. Dieses Verfahren heisst Destillation.

Von grosser praktischer Bedeutung ist die Herstellung destillirten Wassers. Dasselbe wird bei der Destillation nicht nur von gelösten Salzen, sondern auch von der in ihm gelöst gewesenen Luft befreit. (Vor jedem Sieden von lufthaltigem Wasser sieht man zahlreiche Luftbläschen aufsteigen und an der Oberfläche zerplatzen; erst nach dem Entweichen der Luft tritt die Bildung von Dampfblasen ein. Dieselben werden anfänglich — wenn die oberen Schichten des Wassers noch nicht genügend erwärmt sind — von diesen wieder verdichtet, wobei ein eigenthümlich summendes Geräusch auftritt: das Singen des Wassers.)

Häufig vollzieht man die Destillation zur Trennung mehrerer Flüssigkeiten, die bei verschieden hohen Temperaturen sieden: verschiedene Flüchtigkeit besitzen. Die flüchtigere Flüssigkeit geht beim vorsichtigen Erwärmen über, die weniger flüchtige bleibt zurück. Lässt man mehrere Flüssigkeiten — bei verschiedenen Siedepunkten — übergehen und fängt sie gesondert auf, so heisst die Destillation eine fraktionirte.

Eine zweimal destillirte Flüssigkeit heisst rektificirt, die zweite, zur vollständigen Reinigung vorgenommene Destillation heisst Rectification.

Die Destillation wird entweder in einem metallenen (kupfernen oder zinnernen) Gefäss, der Destillirblase, vorgenommen, an die sich als Ableitungs-

rohr der zinnerne Helm oder Hut ansetzt; oder man benutzt eine Retorte, die aus Glas besteht, ungefähr die Form einer Birne hat und ein seitlich abwärts gerichtetes Ableitungsrohr besitzt; ist die Retorte oben mit einer verschliessbaren Oeffnung versehen, so heisst sie tubulirt.

Die Verdichtung der übergehenden Dämpfe geschieht entweder ohne weiteres in der Vorlage, einem Gefäss, in welches das Ableitungsrohr hineinführt

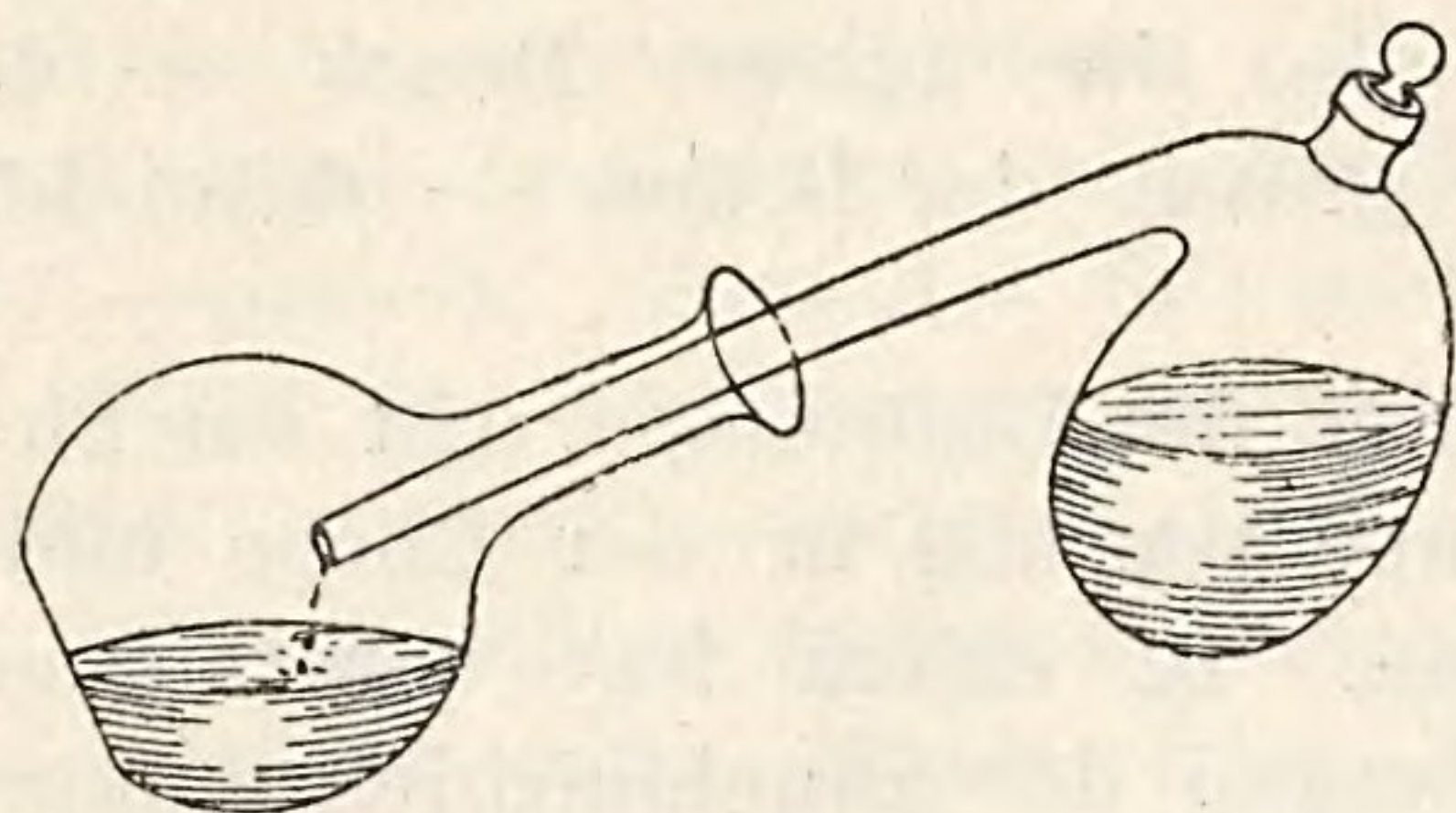


Fig. 77. Einfacher Destillationsapparat.

und welches — z.B. durch darüber laufendes kaltes Wasser — gekühlt werden kann (Fig. 77), oder — wenn die Dämpfe weniger leicht verdichtbar sind — in einem besonderen Kühlgefäss, welches aus einem mit kaltem Wasser gefüllten Behälter, dem Kühlfass, und einem durch dasselbe verlaufenden Rohre, dem Kühlrohr, besteht.

Eine besondere, sehr handliche Form des Kühlgefässes bildet der Liebig'sche Kühler (Fig. 78). Derselbe besteht aus einem in geneigter Stellung befindlichen engeren Rohre *ab*, in welches die zu verdichtenden Dämpfe (aus der Retorte *R*) eintreten, und einem das erstere umgebenden weiteren Rohre *cd*, welches fortdauernd von kaltem Wasser durchströmt wird. Das Wasser fliesst

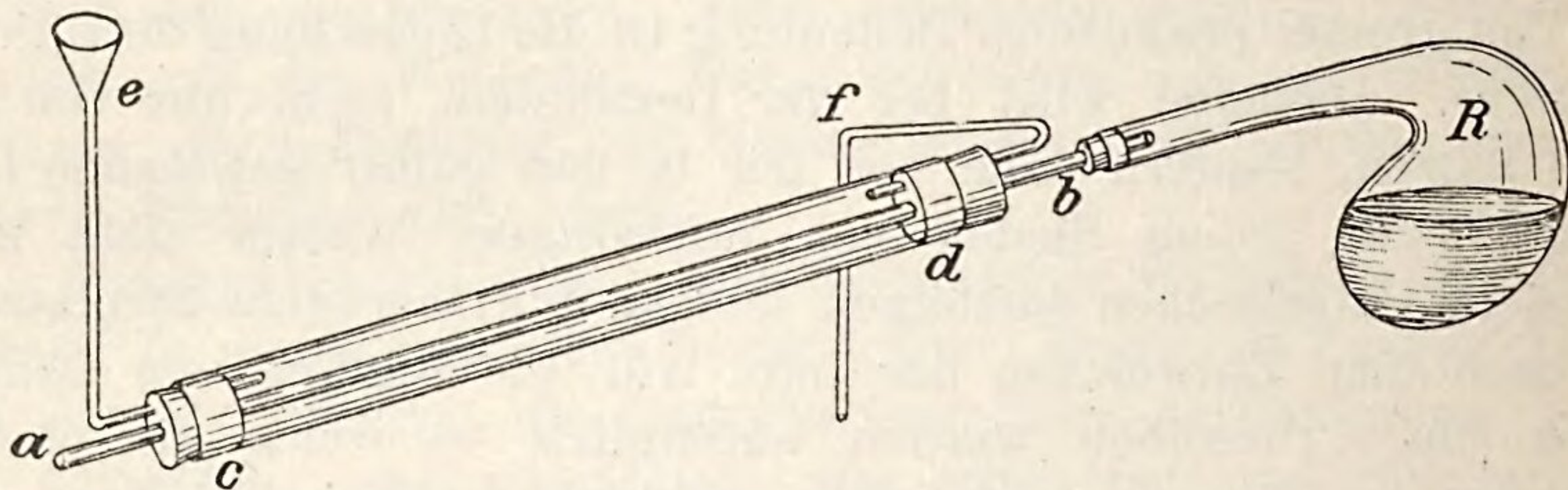


Fig. 78. Liebig'scher Kühler.

an dem tieferen Ende *c* des Rohres durch das Trichterrohr *e* zu und an dem oberen Ende *d* durch das nach unten gebogene Rohr *f* ab. Dadurch wird es bewirkt, dass das Rohr *cd* stets vollständig mit Wasser gefüllt ist. Zu diesem Zwecke muss der Kühler noch insbesondere so gestellt werden, dass der Trichter des Trichterrohres höher als das obere Ende (*d*) des weiten Rohres bzw. als das Abflussrohr *f* liegt. (Gesetz der kommunizirenden Gefässe!)

Sublimation. Von der Destillation unterscheidet sich die Sublimation auf die Weise, dass bei ihr sich Dämpfe nicht zu Flüssigkeiten verdichten, sondern unmittelbar in den festen Zustand übergehen. Wird z. B. Schwefel in einem Kessel erhitzt und werden die sich entwickelnden Dämpfe in eine kalte Kammer geleitet, so schlägt sich an deren Wandungen der Schwefel als feiner Staub nieder, den man Schwefelblumen nennt. Wird Jod in einer Retorte

erhitzt, die in eine Vorlage mündet, so setzen sich an den Wänden der letzteren dunkle Jodkrystalle ab, die aus den violetten Joddämpfen entstehen, welche in die Vorlage hinüberströmen. —

Die Sublimation dient gleich der Destillation und gleich der Krystallisation zur Reindarstellung von Körpern.

Schmelzungs- und Verdampfungswärme. Während die Temperatur eines Körpers, dem fortdauernd neue Wärme zugeführt wird, im Allgemeinen stetig wächst, bleibt die Temperatur eines schmelzenden oder siedenden Körpers trotz zugeführter Wärme so lange unverändert dieselbe, bis der neue Aggregatzustand vollkommen hergestellt ist.

Es dient demnach beim Schmelzen und Verdampfen eine gewisse Wärmemenge nicht zur Temperaturerhöhung, sondern lediglich zur Aenderung des Aggregatzustandes; dieselbe geht äusserlich — für das Gefühl und die Anzeigen des Thermometers — verloren und heisst daher latente oder gebundene Wärme. Die für die Schmelzung verbrauchte latente Wärme heisst Schmelzungswärme, die für die Verdampfung verbrauchte heisst Verdampfungswärme.

Die Schmelzungswärme des Eises ist so gross, dass sie genügen würde, eine gleich grosse Gewichtsmenge Wasser von 0° auf $79,25^{\circ}$ C. zu erwärmen.

Die Verdampfungswärme des Wassers ist nahezu 7 mal so gross.

Wärmeeinheit. Diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur eines Kilogramms Wasser um 1° C. zu erhöhen, nennt man Wärmeeinheit oder Kalorie.

Hiernach ist die Schmelzungswärme des Eises zu Folge der vorstehenden Angabe = 79,25 Kalorien. Die Verdampfungswärme des Wassers ist = 537 Kalorien.

Freiwerden von Wärme. Wie beim Uebergang aus einem dichteren in einen dünneren Aggregatzustand Wärme verbraucht wird, wird umgekehrt beim Uebergang aus einem dünneren in einen dichteren Aggregatzustand Wärme erzeugt oder — nach älterer Ausdrucksweise — frei.

Der Wärmeverbrauch beim Schmelzen und Verdampfen (und desgleichen die Wärmeerzeugung bei den umgekehrten Vorgängen) erklärt sich aus der Vorstellung, die man von der Natur der Wärme hat (S. 116). Fassen wir den Process der Schmelzung näher ins Auge! Bei demselben erfahren die Körpertheilchen (im Allgemeinen) eine Trennung von einander; damit diese eintrete, ist eine gewisse Arbeit erforderlich, welche die Wärme — als eine besondere Form der Bewegung — zu leisten im Stande ist. Da eine gewisse Wärmemenge diese Arbeit verrichtet, kann sie keine andere Wirkung ausüben, insbesondere keine Ausdehnung der umgebenden Körper (des Quecksilbers im Ther-

mometer u. s. w.) herbeiführen. Sie wird vielmehr für die Schmelzung verbraucht.

Lösungswärme. Da die Auflösung eines festen Körpers in einer Flüssigkeit mit einer Vertheilung — gleichsam auch einer Verflüssigung — des ersteren verbunden ist, so wird bei derselben wie beim Schmelzen gleichfalls Wärme verbraucht. (Beispiele: Lösung von Salpeter oder Salmiak in Wasser.)

Salzlösungen gefrieren bei niedrigerer Temperatur als reines Wasser. Daher wird eine Mischung von Kochsalz und Schnee flüssig, und in Folge der Verflüssigung sinkt die Temperatur. Man bezeichnet aus diesem Grunde ein derartiges Gemenge als Kältemischung. (Die beste Kältemischung aus Kochsalz und Schnee geschieht im Verhältniss 1:3; andere Kältemischung: 5 Theile Salmiak, 5 Theile Salpeter, 19 Theile Wasser.)

Verdunstungskälte; Eismaschine. Diejenige Wärme, welche beim Verdunsten einer Flüssigkeit verbraucht wird, entnimmt die verdunstende Flüssigkeit der Umgebung, so dass letztere abgekühlt wird: Verdunstungskälte. (Beispiele: Das Besprengen der Strassen; Kältegefühl, wenn man geschwitzt ist u. s. w.)

Auf der Benutzung der Verdunstungskälte beruht die Einrichtung der Eismaschinen.

Die Carré'sche Eismaschine besteht aus zwei Metallbehältern, die durch eine Röhre mit einander in Verbindung stehen. In dem einen Behälter befindet sich eine concentrirte wässrige Ammoniaklösung, der andere ist leer und wird von aussen durch Wasser gekühlt. Durch Erhitzen des ersten Kessels wird das gasförmige Ammoniak aus der Lösung ausgetrieben (Steigerung des inneren Gasdrucks) und gelangt in den zweiten Behälter, wo es sich in Folge des hohen Druckes, der in dem aus beiden Gefässen gebildeten geschlossenen System herrschend wird, zu flüssigem Ammoniak verdichtet. Wird nun das Erhitzen eingestellt, so vermag das in dem ersten Behälter zurückgebliebene Wasser wieder Ammoniak zu absorbiren, und es tritt eine schnelle Verdunstung des Ammoniaks im zweiten Behälter ein, die solche Kälte erzeugt, dass in einem in diesen Behälter eingehängten Blechcylinder Wasser, welches er enthält, gefriert. —

Bei den Aether-Eismaschinen wird Aether durch eine Luftpumpe zum Verdampfen gebracht; durch Abkühlung werden die Aetherdämpfe verdichtet und flüssig in den Kälteerzeuger zurückgeleitet. Die bei der Verdunstung des Aethers entstehende Kälte wird zur Eiserzeugung benutzt.

Kritische Temperatur. Da eine Flüssigkeit um so schwerer siedet, je grösser der äussere Druck ist, unter dem sie steht (S. 123), so lässt sich ein

Flüssigkeitsdampf bei einer bestimmten, gleichbleibenden Temperatur dadurch verdichten, dass man einen passenden Druck auf ihn ausübt. Das Gleiche gilt für solche Körper, die unter gewöhnlichen Umständen von vornherein als Gase (und nicht als Flüssigkeiten) bestehen.

Aber nicht bei jeder Temperatur lässt sich ein Gas durch gesteigerten Druck in den flüssigen Zustand überführen. Vielmehr giebt es (nach Andrews' Entdeckung, 1869) für jedes Gas eine bestimmte Temperatur, oberhalb welcher es sich durch keinen noch so hohen Druck verflüssigen lässt. Diese Temperatur heisst die kritische. (Für Kohlensäure ist sie = $+30,9^{\circ}$ C.)

Wird ein Gas bei seiner kritischen Temperatur steigenden äusseren Drucken ausgesetzt, so folgt es (im Allgemeinen) zuerst dem Mariotte'schen Gesetz (S. 71), bis es bei einem gewissen Druck (Kohlensäure bei 74 Atmosphären) in einen eigenthümlichen Zwischenzustand zwischen Gas und Flüssigkeit, den sogenannten kritischen Zustand eintritt.

Da für die Elemente Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff sowie einige chemisch zusammengesetzte Gase (Stickstoffoxyd, Kohlenoxyd und Grubengas) die kritische Temperatur sehr tief liegt (für Sauerstoff z. B. = -113° C.) und man dieselben früher, weil man von dem Dasein der kritischen Temperatur nichts wusste, bei nicht genügend niedrigen Temperaturen komprimirte, so gelang es nicht, sie zu verflüssigen; man nannte sie daher permanente Gase. Cailletet und Pictet haben nachgewiesen (1877), dass auch sie sich verflüssigen lassen (koërcibel sind).

Dampfsättigung; Dalton'sches Gesetz. Ein begrenzter Raum vermag bei einer jeden Temperatur nur eine gewisse Menge eines Flüssigkeitsdampfes aufzunehmen, welche die Sättigungsmenge des Raumes für die betreffende Temperatur genannt wird. Wird ihm mehr Dampf zugeführt, so verdichtet sich der Ueberschuss zur Flüssigkeit. Da die Sättigungsmenge mit der Temperatur wächst, so tritt in einem mit einem Flüssigkeitsdampfe gesättigten Raume auch dann eine Verflüssigung ein, wenn die Temperatur sinkt. Ebenso kondensirt sich der Dampf an einem kalten Körper, der in den gesättigten Raum gebracht wird. (Das „Schwitzen“ der Fensterscheiben im Herbst und Winter.)

Wie Dalton festgestellt hat (1801), nimmt ein bestimmter Raum stets dieselbe Menge eines Dampfes auf, gleichgiltig, ob er leer oder mit irgend einem andern Dampfe oder Gase von beliebiger Dichtigkeit gefüllt ist: Die Sättigungskapazität eines Raumes für den Dampf einer Flüssigkeit ist unabhängig von dem Vorhandensein und der Natur eines andern Dampfes oder Gases.

Nur den Unterschied weist ein leerer Raum gegenüber einem gaserfüllten auf, dass sich jener schneller mit Dampf sättigt als dieser.

Diesem sowie den bereits besprochenen Gasgesetzen (dem Mariotte-Boyle'schen und dem Gay-Lussac'schen — vgl. S. 71, 118 und 121) entsprechen nach van't Hoff die bei der Osmose (S. 68) herrschenden Gesetzmässigkeiten. Seiner „Lösungstheorie“ zufolge übt der gelöste Stoff auf die halbdurchlässige (das Lösungsmittel durchlassende, den gelösten Stoff zurückhaltende) Scheidewand einen Druck aus, wie wenn er ein Gas wäre, welches den gleichen Raum bei gleicher Temperatur erfüllte. Dieser Druck heisst der osmotische Druck

des gelösten Stoffes. Er wächst proportional mit der Concentration (Mariotte-Boyle'sches Gesetz) und mit der absoluten Temperatur (Gay-Lussac's Gesetz) und ist unabhängig von dem osmotischen Druck eines anderen gelösten Stoffes (Dalton's Gesetz). —

Lösungen verschiedener Körper in derselben Flüssigkeit, welche im gleichen Raume die gleiche Anzahl Moleküle gelösten Stoffes enthalten, haben gleichen Dampfdruck, gleichen osmotischen Druck und gleichen Gefrierpunkt.

Mengen beliebiger Stoffe, die im Verhältniss ihrer Molekulargewichte stehen, geben, wenn sie in gleichen Mengen desselben beliebigen Lösungsmittels gelöst werden, die gleiche Gefrierpunkts-Erniedrigung. (Raoult'sches Gesetz, 1884.)

Feuchtigkeit. Enthält ein Luftgebiet nahezu eine so grosse Menge Wasserdampf, als zu seiner Sättigung nöthig ist, so nennt man es feucht; enthält es nur wenig Wasserdampf, so nennt man es trocken. Bei demselben absoluten Gehalt an Wasserdampf erscheint eine Luftmenge (nach S. 127) um so feuchter, je niedriger ihre Temperatur ist. Tritt eine Temperaturerniedrigung ein und schreitet sie weit genug fort, so erfolgt schliesslich eine Verflüssigung eines Theiles des Wasserdampfs: ein Niederschlag. Die Temperatur, bei welcher dies geschieht, wird als Thaupunkt bezeichnet.

Unter dem absoluten Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre versteht man diejenige Gewichtsmenge Wasserdampf, die in einer Volumeinheit Luft enthalten ist. Derselbe ist im Sommer grösser als im Winter, Nachmittags grösser als kurz vor Sonnenaufgang.

Umgekehrt verhält es sich mit dem mittleren Sättigungsverhältniss oder der relativen Feuchtigkeit. Mit diesem Namen bezeichnet man den in der Luft vorhandenen, in Procenten ausgedrückten Bruchtheil der ganzen zur Sättigung bei der herrschenden Temperatur nothwendigen Wasserdampfmenge.

Zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft dienen die verschiedenen Arten der Hygrometer und das Psychrometer von August; am genauesten erfolgt sie auf dem Wege der Absorption und direkten Wägung.

Dampfmaschine. Die bedeutende Spannung, welche der sich aus dem flüssigen Wasser entwickelnde Wasserdampf, besonders bei hohen, über den Siedepunkt gesteigerten Temperaturen besitzt, wird als bewegende Kraft in den Dampfmaschinen benutzt.

Die Grösse der Spannung wird 1. daraus ersichtlich, dass derjenige Wasserdampf, der beim Sieden einer bestimmten Wassermenge bei 100° C. entsteht, einen 1700 mal so grossen Raum als die letztere einnimmt, und 2. daraus, dass Wasserdampf, dessen Spannkraft bei 100° C. gleich einer Atmosphäre ist, bei Erwärmung auf 121° die doppelte, auf 135° die dreifache, auf 145° die vierfache Spannkraft annimmt u. s. f.

Man unterscheidet gegenwärtig zwei Arten von Dampfmaschinen: die Niederdruckmaschinen (oder Maschinen mit Kondensation)

und die Hochdruckmaschinen (oder Maschinen ohne Kondensation).

Niederdruckmaschine. Eine Niederdruckmaschine (Fig. 79) besteht aus folgenden Haupttheilen: dem Dampfkessel (*DK*), dem Cylinder (*C*) mit dem Kolben (*K*), dem Kondensator (*Kds*), dem Balancier (*Ba*) und dem Schwungrad (*S*). Die neueren Dampfmaschinen werden vielfach auch ohne Balancier gebaut; es ist dann die Kolbenstange durch eine Führung unmittelbar mit der Bleuelstange des Schwungrades verbunden.

Die Erzeugung der zur Verwendung kommen sollenden Wasserdämpfe geschieht in dem Dampfkessel *DK*. Derselbe wird mit Wasser gespeist und dieses bis zum Sieden erhitzt. Da der Kessel vollständig geschlossen ist, so steigert sich die Spannkraft der Dämpfe, und das Sieden vollzieht sich bei einer höheren Temperatur als 100° C.

Um Explosionen zu verhüten, die in Folge des hohen Dampfdrucks eintreten könnten, ist an dem Kessel ein (in der Figur nicht gezeichnetes) Sicherheitsventil angebracht, das sich nach aussen zu öffnen vermag, aber von einem einarmigen Hebel, an dessen freiem Ende ein Gewicht angebracht ist, so lange niedergehalten wird, als die Spannkraft der Dämpfe im Kessel den Druck des Gewichts nicht übersteigt; wenn letzteres sich ereignet, wird das Ventil gehoben, es strömt Dampf aus und die Spannkraft der zurückbleibenden Dampfmenge wird verringert.

Ein am Kessel angebrachtes Manometer ermöglicht es, jederzeit die Grösse der Dampfspannung zu erkennen. Ein (aus Glas hergestelltes) Wasserstandsrohr zeigt den Stand des Wassers im Kessel an.

Die im Dampfkessel entwickelten Dämpfe werden durch das Dampfrohr *DR* nach dem Cylinder *C* geleitet, um in diesem den Kolben *K* auf- und niederzubewegen, der durch die Kolbenstange *dK* den um die feste Achse *A* drehbaren Balancier *Ba* bewegt, der seinerseits durch Vermittlung der Bleuelstange *Bl* und der Kurbel *Kr* die Welle des grossen Schwungrades *S* in Umdrehung versetzt. (Verwandlung der gleitenden — geradlinigen — Bewegung des Kolbens in eine drehende.) Vom Schwungrade aus wird die Bewegung auf andere Maschinen übertragen, die durch die Dampfmaschine in Betrieb gesetzt werden sollen. —

Um das abwechselnde Auf- und Niedergehen des Kolbens zu Wege zu bringen, muss der Dampf bald oberhalb, bald unterhalb des Kolbens in den Cylinder eintreten. Dies wird durch folgende Einrichtung ermöglicht: Der Cylinder besitzt zwei Oeffnungen, die

eine nahe dem Boden, die andere nahe der Decke, durch welche der innere Cylinderraum mit dem sogenannten Schieberkasten (*SK*) in Verbindung steht, in dem sich der Vertheilungsschieber *V* befindet. Dieser, von muschelartiger Gestalt, theilt den Raum des Schieberkastens in einen äusseren und einen inneren und wird durch eine Stange und eine Steuerungsvorrichtung ($W_1—E$) von der Achse des Schwungrades aus auf- und abbewegt. Geht der Vertheilungsschieber in die Höhe, so giebt er die untere Oeffnung

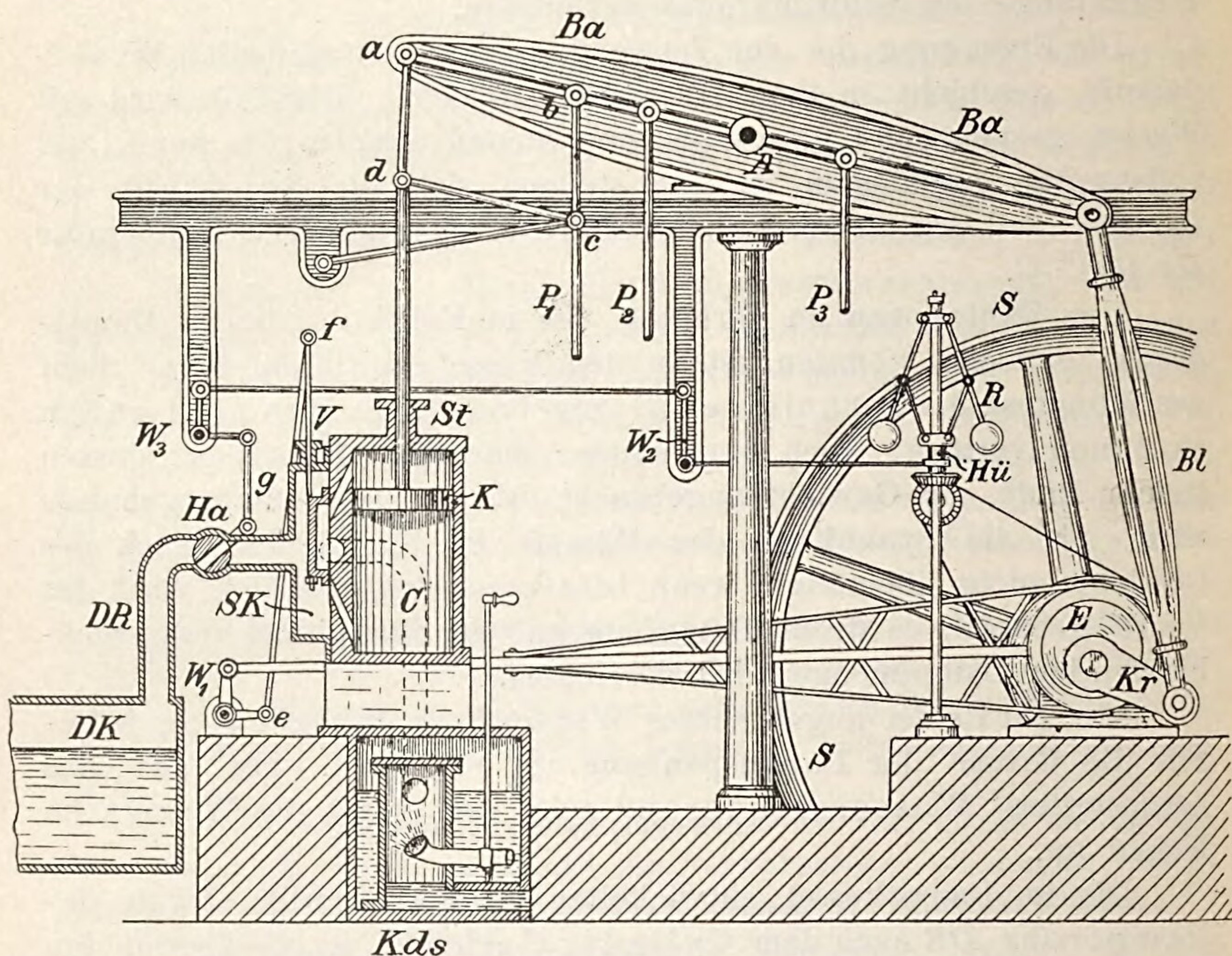


Fig. 79. Dampfmaschine (Niederdruckmaschine).

des Cylinders frei, und letzterer steht in seinem unteren Theile mit dem äusseren Schieberraum und in Folge dessen mit dem Dampfrohr *DR* in Verbindung: der Dampf strömt in den unteren Theil des Cylinders und treibt den Kolben empor. Zugleich steht aber der obere Theil des Cylinders (durch die obere Oeffnung) mit dem inneren Schieberraum in Verbindung, und der über dem Kolben befindliche Dampf vermag — durch diesen Schieberraum und ein in der Figur punktirt gezeichnetes Rohr — nach dem Kondensator *Kds* zu entweichen, wo er zu Wasser verdichtet wird. Der Kondensator ist nämlich ein luftleeres, ringsum von kaltem Wasser

umgebenes Gefäss, in das ausserdem bei jedem Kolbenstoss kaltes Wasser eingespritzt wird. — Nachdem der Kolben nahe am oberen Ende des Cylinders angelangt ist, bewirkt es die Steuerungsvorrichtung $W_1—E$, dass der Vertheilungsschieber abwärts bewegt wird. Dann tritt der Cylinder in seinem oberen Theile durch die frei werdende obere Oeffnung mit dem äusseren Schieberraum in Verbindung; der Dampf strömt in den oberen Theil des Cylinders und treibt den Kolben hinab, während, wie zuvor, der unter dem Kolben befindliche Dampf nach dem Kondensator entweicht.

Die Steuerungsvorrichtung ($W_1—E$) besteht aus der auf der Welle des Schwungrades befestigten excentrischen Scheibe E , einer von E nach W_1 verlaufenden Schubstange und dem Winkelhebel W_1 . In Folge der Drehung des Schwungrades befindet sich der grössere Theil der excentrischen Scheibe bald links, bald rechts von der Welle des Schwungrades, so dass die mit ihrem einen Ende auf die excentrische Scheibe aufgesetzte Schubstange eine wagerecht hin- und hergehende Bewegung erfährt, die durch den Winkelhebel W_1 in eine auf- und niedergehende Bewegung der Stange ef und damit des Vertheilungsschiebers V verwandelt wird.

Auf dem Schieberkasten (SK) ist eine Stopfbüchse angebracht, durch welche die führende Stange des Vertheilungsschiebers luft- oder dampfdicht hindurchgeht. Eine gleiche Stopfbüchse (St) befindet sich auf dem Cylinder, um den Dampfaustritt rings um die Kolbenstange (dK) zu verhindern.

Damit die Bewegung der Kolbenstange sich zu einer genau senkrechten gestalte, steht letztere nicht unmittelbar mit dem Balancier (Ba) in Verbindung, sondern wird von dem an dem Balancier befestigten sogenannten Watt'schen Parallelogramm $abcd$ getragen.

Das Schwungrad (S) hat den Zweck, den Gang der Maschine gleichförmig zu erhalten. Da nämlich seine Masse eine beträchtliche ist, so ändert es seinen Bewegungszustand nicht plötzlich, wenn der Dampfzutritt zum Cylinder eingeleitet oder unterbrochen wird, und verhindert insbesondere ein Stillestehen der Maschine, wenn der Dampf vorübergehend abgesperrt ist. Auch ist es das Schwungrad, das der Kurbel über ihren höchsten und ihren tiefsten Punkt (die sogenannten „todten Punkte“) hinweghilft.

Die Schnelligkeit des Ganges der Dampfmaschine wird durch den Centrifugalregulator R geregelt. Derselbe besteht aus zwei von kurzen Stangen getragenen Metallkugeln, die sich um eine senkrechte Achse drehen. An den Stangen hängt, abermals von zwei Stangen getragen, eine lose über die Achse geschobene Hülse

(*Hü*). Die Achse wird durch Vermittlung von Zahnrädern und einer Treibschnur von der Maschine in Umdrehung versetzt. Geht nun die Maschine zu schnell, so treibt die Centrifugalkraft die beiden Kugeln des Regulators von der Umdrehungsachse fort; dadurch gehen sie selbst und die Hülse *Hü* in die Höhe. An der Hülse ist aber eine Stange befestigt, welche den einen Arm eines Winkelhebels (W_2) darstellt, dessen anderer Arm eine nach links gehende Bewegung ausführt und dadurch einen weiteren Winkelhebel (W_3) bewegt, durch den eine Stange (*g*) gehoben wird, die einen im Dampfrohr angebrachten Hahn (*Ha*) schliesst, so dass der Dampfzutritt zum Cylinder gehemmt wird. Bei zu langsamem Gange der Maschine geschieht das Umgekehrte.

P_1 , P_2 und P_3 sind Pumpenstangen, die am Balancier befestigt sind und durch ihn in Bewegung gesetzt werden. Sie führen zur Kondensator- oder Luftpumpe (P_1), welche die Aufgabe hat, das warme Wasser und die eingedrungene Luft aus dem Kondensator zu entfernen; zur Speisepumpe (P_2), die einen Theil dieses warmen Wassers nach dem Dampfkessel befördert und so für dessen Speisung sorgt; und zur Kaltwasserpumpe (P_3), durch die das Einspritzen des kalten Wassers in den Kondensator bewirkt wird. —

Erfindung der Dampfmaschine durch Savari, 1688; Newcomen baute die erste sogenannte atmosphärische Maschine, 1705; ferner Papin, 1647—1714; James Watt, 1736—1819; er verbesserte 1763 die Newcomen'sche atmosphärische Maschine zur doppelt wirkenden oder Niederdruckmaschine.

Hochdruckmaschine. Die Hochdruckmaschinen unterscheiden sich von den Niederdruckmaschinen durch den Umstand, dass sie des Kondensators entbehren, dass also in ihnen der zur Verwendung gekommene Dampf nicht zu Wasser verdichtet wird; damit im Zusammenhange steht, dass die Hochdruckmaschinen mit höherer Dampfspannung arbeiten als die Niederdruckmaschinen. (Die Spannung beträgt gewöhnlich 5—8 Atmosphären gegenüber höchstens 2 Atmosphären bei den Niederdruckmaschinen). Der Grund, warum bei Anwendung höherer Dampfspannung der Kondensator entbehrt werden kann, ist der, dass in diesem Falle der Dampf den Gegendruck der atmosphärischen Luft zu überwinden im Stande ist und daher in dieselbe frei austreten kann, ohne dass (durch jenen Gegendruck) die Gesamtwirkung der Maschine wesentlich vermindert würde. Ein besonderer Vorzug der Hochdruckmaschinen ist der, dass sie weniger Raum beanspruchen als die Niederdruckmaschinen.

Zu den Hochdruckmaschinen gehören die Lokomotiven. Da

dieselben kein Schwungrad haben, wendet man, um die an der Bleuelstange befestigte Kurbel (und damit die Maschine überhaupt) über die todten Punkte hinweg zu bringen, zwei Cylinder, die derartig wirken, dass die von dem einen Cylinder aus bewegte Kurbel gerade ihre grösste Kraftleistung giebt, wenn die durch den andern Cylinder getriebene Kurbel an einem der todten Punkte angelangt ist.

Die erste Lokomotive baute George Stephenson; 1825 eröffnete er die erste Eisenbahn (Stockton—Darlington). —

Die Arbeitsleistung einer Dampfmaschine wird berechnet: nach dem Querschnitt des Kolbens, der Höhe des Cylinders (der Hubhöhe), dem Unterschiede des Dampfdrucks auf beiden Seiten des Kolbens, sowie der Anzahl der Auf- und Niedergänge des Kolbens in einer Zeiteinheit. Man giebt sie in Pferdekraften an. (S. 39.)

Specifische Wärme. Wenn man zwei gleich grosse Mengen desselben Körpers, welche verschiedene Temperaturen besitzen, mit einander mischt, so liegt die Temperatur, welche das Gemisch annimmt, genau in der Mitte zwischen den ursprünglichen Temperaturen (oder sie ist das arithmetische Mittel zwischen den ursprünglichen Temperaturen; Formel: $\frac{a^0 + b^0}{2}$).

Anders verhalten sich dagegen gleich grosse Mengen zweier verschiedener Körper. Es giebt also in diesem Falle der wärmere Körper nicht eben so viel Wärme ab, wie der kältere aufnimmt, was seinen Grund nur darin haben kann, dass die Wärmemengen, welche beiden Körpern vor der Mischung innewohnten, nicht im Verhältniss ihrer Temperaturen zu einander standen.

Aus dieser Thatsache folgt, dass gleiche Gewichtsmengen verschiedener Körper, denen gleiche Wärmemengen zugeführt werden, sich nicht in demselben Maasse erwärmen oder mit anderen Worten: nicht dieselbe Temperatur annehmen. Es gehören vielmehr verschiedene Wärmemengen dazu, um an gleichen Gewichtsmengen zweier verschiedener Körper dieselbe Temperatursteigerung zu bewirken. — Besondere Versuche bestätigen diese Folgerung.

Diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur von 1 Kilogramm eines Körpers um 1° C. zu erhöhen, heisst die specifische Wärme (oder Wärmekapazität) des Körpers.

Die specifische Wärme des Wassers ist nach S. 125 gleich einer Wärmeeinheit oder einer Kalorie oder kurz = 1.

Zur Bestimmung der specifischen Wärme eines Körpers bedient man sich vorzugsweise des Kalorimeters, eines Apparats von verschiedenartiger Einrichtung, der es gestattet: entweder festzustellen, welche Temperaturzunahme

eine bestimmte Menge Wasser von bekannter Temperatur erfährt, wenn sie mit einer bestimmten Menge des auf eine bestimmte Temperatur erwärmten Körpers, der untersucht werden soll, gemischt wird; oder zu ermitteln, eine wie grosse Menge Eis durch eine bestimmte Menge des erwärmten Körpers zum Schmelzen gebracht wird.

Nachfolgend einige Angaben über die specifische Wärme einiger Stoffe:

Wasser	1,000	Schwefel.	0,203
		Glas	0,177
Alkohol	0,632	Eisen	0,114
Aether	0,550	Kupfer	0,095
Olivenöl	0,504	Silber	0,057
Terpentinöl	0,440	Gold	0,032
Quecksilber	0,033	Blei	0,031
		Luft	0,267

Hieraus ist ersichtlich, dass die specifische Wärme der Flüssigkeiten grösser als die der festen Körper ist. Das Wasser hat die grösste specifische Wärme.

Die specifische Wärme eines Körpers ist nicht für alle Temperaturen dieselbe, sie steigt im Allgemeinen mit der Temperatur.

Je grösser die specifische Wärme eines Körpers ist, desto langsamer, aber in desto reichlicherem Maasse giebt er die ihm zugeführte Wärme bei der Abkühlung ab.

Eine wichtige Beziehung besteht zwischen der specifischen Wärme der chemischen Grundstoffe im festen Aggregatzustande und ihrem Atomgewicht. Beide Grössen sind einander umgekehrt proportional, oder ihr Produkt ist stets dieselbe Zahl (6). Doch giebt es Ausnahmen (Kohlenstoff, Bor, Silicium).

Da das Produkt aus der specifischen Wärme und dem Atomgewicht eines chemischen Grundstoffs angiebt, wieviel Wärmeeinheiten erforderlich sind, um das Atomgewicht (bezw. das Atom) um 1° C. zu erwärmen, so hat man es die Atomwärme genannt. Nach dem oben Gesagten haben somit die chemischen Grundstoffe im festen Aggregatzustande die gleiche Atomwärme. (Dulong-Petit'sches Gesetz; 1818.)

Die specifischen Wärmen der chemisch einfachen Gase (Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Chlor) sind umgekehrt proportional ihren Dichtigkeiten. Und da die Dichtigkeit der gasförmigen Elemente proportional ihrem Molekulargewicht und im Allgemeinen auch proportional ihrem Atomgewicht ist (Avogadro'sches Gesetz, 1811), so haben die chemisch einfachen Gase (im Allgemeinen) auch gleiche Atomwärmen.

Dies gilt von der specifischen Wärme bei konstantem Druck. Die specifische Wärme der Gase bei konstantem Volum ist eine andere als die bei konstantem Druck; dies gilt für alle Gase. Das Verhältniss beider specifischen Wärmen zu einander (konst. Druck : konst. Vol.) ist = 1,41, wenn der konstante Druck = 1 Atmosphäre ist.

Verbreitung der Wärme. Die Verbreitung der Wärme geschieht auf zweierlei Art: durch Leitung und durch Strahlung.

Die Wärmeleitung erfolgt von Körpermolekül zu Körpermolekül und findet daher entweder innerhalb eines Körpers oder zwischen zwei sich berührenden Körpern statt. Die Wärmestrahlung dagegen geht in derselben Weise vor sich wie die Fortpflanzung des Lichtes, auf beliebig grosse Entfernungen und ohne dass ein wägbarer Körper die Fortpflanzung vermittelte, wie es der Wärmeübergang von der Sonne zur Erde beweist. Es muss demnach der Aether die Wärmestrahlung — ebenso wie die Lichtstrahlung — bewerkstelligen.

Nicht alle Körper leiten die Wärme gleich gut. Gute Wärmeleiter nehmen die Wärme schneller auf und verlieren sie schneller als schlechte Wärmeleiter. Gute Wärmeleiter sind in erster Linie die Metalle, schlechte Wärmeleiter Holz, Stroh, Pelzwerk, Wolle, Federn, auch Glas; ferner Flüssigkeiten und Gase. Die meisten Gesteine haben ein mittleres Wärmeleitungsvermögen. — Eisen fühlt sich kälter an als Holz, weil jenes die Wärme der berührenden Hand schneller und in höherem Maasse fortleitet als dieses. Ein an einem Ende erhitzter Eisendraht wird bald auch am andern Ende heiss; hat er an diesem Ende einen hölzernen Griff oder wird er daselbst mit Papier, Stroh u. dergl. umwickelt, so nehmen wir daselbst keine Erwärmung wahr. Schutz der Eiskeller durch Stroh gegen Erwärmung. Schutz des menschlichen Körpers durch wollene Bekleidung gegen Erkältung. Vorwärmen eines Glasgefässes, in welches eine heisse Flüssigkeit gefüllt werden soll; die Unterlage muss dabei ein schlechter Wärmeleiter sein (Holz u. dergl., nicht Metall oder Stein). Erhitzen gläserner Gefässe auf einem Drahtnetz oder einem Sandbade — behufs gleichmässiger Vertheilung der Wärme. Doppelfenster — die ruhige Luftschicht zwischen beiden Fenstern ist ein sehr schlechter Wärmeleiter.

Das Wärmeleitungsvermögen der nicht regulären Krystalle ist in verschiedenen Richtungen verschieden.

In einer Flüssigkeit, die von unten her erwärmt wird, erfolgt die Verbreitung der Wärme nicht durch Leitung, sondern durch Strömungen, welche in Folge des Leichterwerdens der erwärmten Flüssigkeit entstehen.

Aehnlich ist es bei den Gasen.

Wärmestrahlung erfolgt z. B. von einem geheizten Ofen. Ein Ofenschirm hebt sie auf. Die Wärmestrahlen werden also von gewissen Körpern nicht durchgelassen. Körper, welche die Wärmestrahlen durchlassen, ohne eine erhebliche Menge der Wärme aufzunehmen, heissen diatherman (z. B. Steinsalz); Körper, welche

die Wärmestrahlen nicht durchlassen, heissen adiatherman oder atherman (z. B. Russ, Metalle).

Es giebt Körper, welche die Lichtstrahlen durchlassen, die dunklen Wärmestrahlen aber nicht; so ist der Alaun farblos und durchsichtig, aber fast ganz adiatherman; eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff dagegen ist undurchsichtig, lässt aber die dunklen Wärmestrahlen hindurch.

Als dunkle Wärmestrahlen bezeichnet man diejenigen, welche im Spektrum jenseits des rothen Endes liegen. (Vergl. S. 107.) Die Wärmestrahlen unterliegen gleich den Lichtstrahlen den Gesetzen der Brechbarkeit; und es giebt Wärmestrahlen von verschiedener Brechbarkeit. Je höher die Temperatur einer Wärmequelle ist, desto mannichfaltigere Wärmestrahlen sendet sie aus, und desto grösser ist unter ihnen die Zahl der brechbareren — und damit im sichtbaren Theil des Spektrums liegenden — Wärmestrahlen. Bei der Temperatur des Rothglühens treten unter den ausgesendeten Wärmestrahlen die ersten sichtbaren auf (es sind dies die am wenigsten brechbaren derselben); ist volle Weissglühhitze erreicht, so sind in der Gesamtheit der ausgesendeten

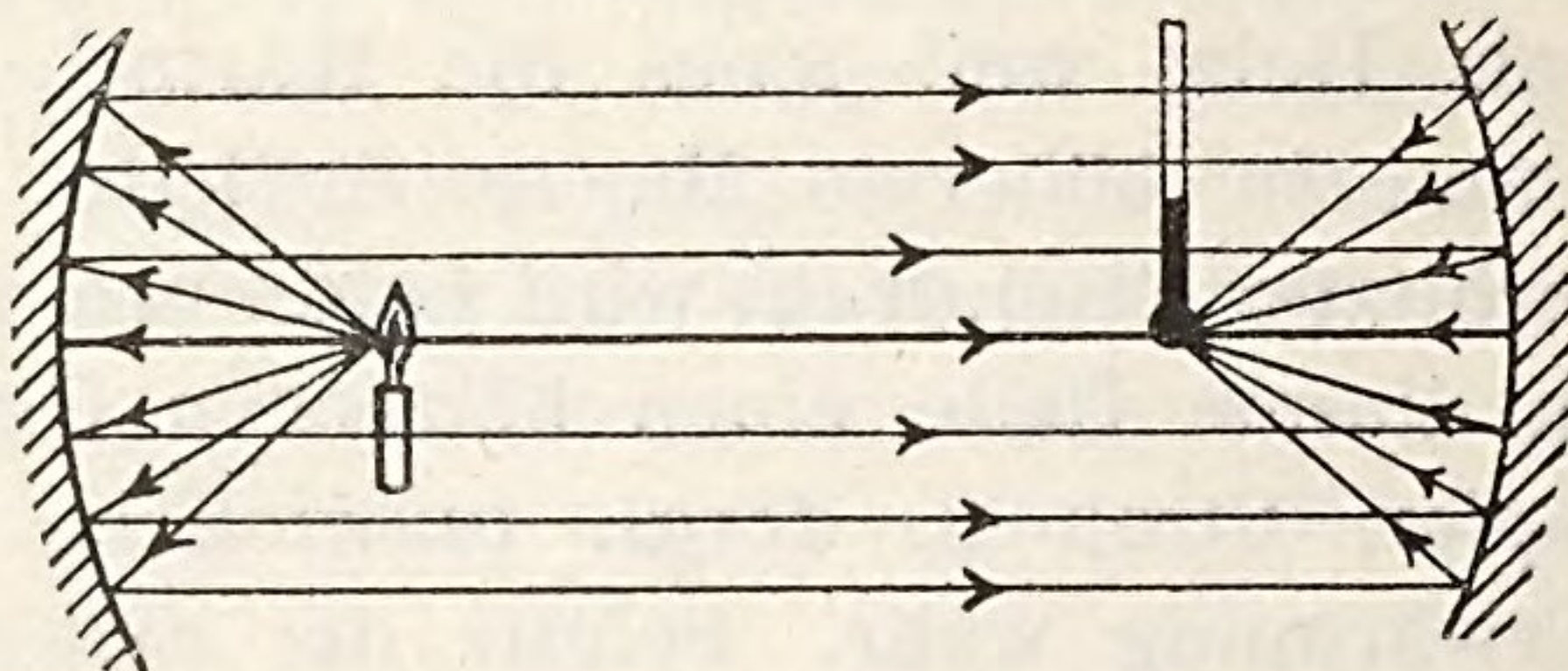


Fig. 80. Reflexion der Wärmestrahlen.

Wärmestrahlen alle Gattungen der sichtbaren und die dunklen Wärmestrahlen in erhöhter Stärke vorhanden.

Dass die Wärmestrahlen auch, genau wie die Lichtstrahlen, reflektirt werden, zeigt folgender Versuch: Es werden zwei metallene Hohlspiegel einander gegenüber aufgestellt (Fig. 80), der Art, dass die Achsen beider in gegenseitiger Verlängerung von einander liegen. Bringt man dann in den Brennpunkt des einen Spiegels eine Flamme, in den Brennpunkt des andern Spiegels ein Thermometer, so beobachtet man an letzterem ein Steigen des Quecksilbers — ein Beweis dafür, dass die von der Flamme aus auf den ersten Spiegel fallenden Wärmestrahlen parallel der Achse des Spiegels reflektirt werden, in dieser Richtung auf den andern Spiegel fallen und von hier aus insgesamt nach dem Brennpunkt reflektirt werden. — Bringt man das Thermometer aus dem Brennpunkt heraus, so zeigt es keine Temperaturerhöhung an.

Das Wärmestrahlungsvermögen ist für verschiedene Körper ungleich; und zwar senden dunkle und rauhe Flächen mehr Strahlen aus als helle und glatte; umgekehrt nehmen jene auch mehr Strahlen in sich auf als diese. — In glatten Gefässen (polirten Theekesseln, Porzellankannen) bleiben daher Flüssigkeiten länger warm als in rauhen. Wir kleiden uns im Sommer hell, im Winter dunkel. Häuserwände, an denen Wein wächst, der der Wärme sehr bedarf, werden schwarz angestrichen; die oberen, der Sonne ausgesetzten Theile der Pferdebahnwagen dagegen weiss.

Quellen der Wärme. Als solche sind folgende zu nennen:

1. Die Sonnenwärme. Die Sonnenstrahlen wirken um so stärker, je senkrechter sie auffallen, weil bei senkrechter Richtung mehr Sonnenstrahlen auf eine Fläche von bestimmter Grösse gelangen, als bei schräger Richtung. (Vergl. Fig. 81, Fläche A und Fläche B.) Den von der Sonne kommenden Wärmestrahlen gegenüber verhalten sich die irdischen Körper verschieden. So nimmt die feste Erdoberfläche die auf sie treffenden Wärmestrahlen auf, während trockene Luft sie fast vollständig durchlässt, ohne sie zu absorbieren. Daher wird der Erdboden warm und von ihm aus auch die ihm zunächst liegenden Luftschichten, während die höheren Luftschichten eine (entsprechend ihrer Entfernung vom Erdboden) niedrigere Temperatur besitzen.

2. Die Erdwärme. (Sprudel, Geysire; Lava.)

3. Chemische Processe. Kalklöschchen; Mischen von concentrirter Schwefelsäure mit Wasser; Verbrennung. Bei der chemischen Vereinigung von Körpern findet im Allgemeinen eine Temperaturerhöhung statt; die Verbrennung ist ein Akt chemischer Vereinigung, genauer ein Oxydationsprocess, bei welchem sich die Erwärmung bis zur Lichtentwicklung steigert.

Auch die Quelle der thierischen Wärme ist der chemische Process.

4. Die Elektrizität. Bei der Vereinigung der beiden entgegengesetzten Elektricitäten (Blitz, elektrischer Funke) wird Wärme erzeugt (der Blitz vermag zu zünden). Der galvanische Strom erwärmt die ihn leitenden Körper (das elektrische Glühlicht, das Bogenlicht).

5. Mechanische Arbeit. In zwei Formen ist dieselbe im Stande, Wärme zu erzeugen: als Druck und als Reibung, die übrigens häufig beide gleichzeitig wirksam sind. (Bei Stoss und Schlag wird in erster Linie ein Druck ausgeübt, in zweiter Linie kann Reibung mitwirken.) Beispiele: Gewinnung von Feuer durch Reiben zweier Stücke trocknen Holzes; Pinkfeuerzeug (Feuerstein und Stahl); Streichhölzer; pneumatisches Feuerzeug (hier wird Luft in einem geschlossenen Rohre durch Niederdrücken eines Stempels schnell zusammengepresst, sie entzündet dann ein unten am Stempel angebrachtes Stückchen Feuerschwamm, Fig. 41). Heisswerden der Wagenachsen (Schmieren vermindert die Reibung und daher auch die Erwärmung). Erhitzen des Eisens beim Hämmern.

Mechanisches Wärme-Aequivalent. Robert Mayer (gest. 1878) und Joule wiesen nach, dass bei der Entstehung von Wärme aus mechanischer Arbeit ein bestimmtes und unabänderliches Verhältniss zwischen der erzeugten Wärmemenge und der zu ihrer Erzeugung aufgewendeten Arbeit besteht. Aus Joule's Versuchen über die Reibung von Gusseisen mit Wasser oder Quecksilber (1850) ergab sich, dass eine Arbeit von 423,55 Kilogramm-meter dazu gehört, die

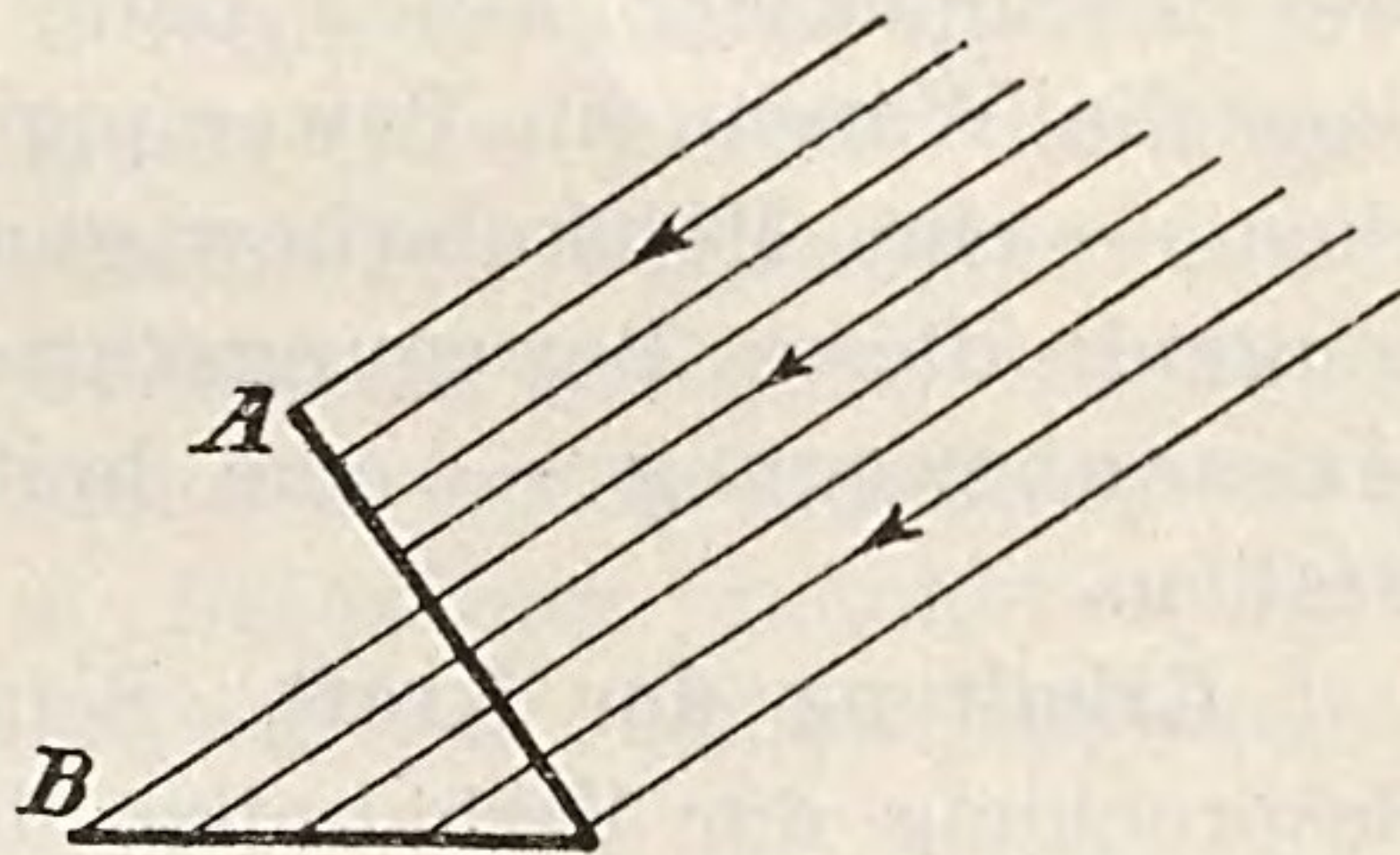


Fig. 81. Erwärmende Wirkung schräg und steil auffallender Sonnenstrahlen.

Temperatur von 1 kg Wasser um 1° C. zu erhöhen. — Umgekehrt liefert die Erwärmung von 1 kg Wasser um 1° C. jenes Maass mechanischer Arbeit, oder genauer: der Verbrauch einer Wärmemenge, die im Stande ist, die Temperatur von 1 kg Wasser um 1° C. zu erhöhen, d. h. der Verbrauch einer Wärmeeinheit (vgl. S. 125) bietet die Quelle dar für eine mechanische Arbeit von 423,55 Kilogrammometer, z. B. für die Hebung eines Gewichtes von 423,55 kg um 1 m. (Vergl. S. 39.) Eine derartige Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit findet bei der Dampfmaschine statt.

Die genannte Zahl (rund 425 Kilogrammometer), welche das feste Umwandlungsverhältniss von Wärme und mechanischer Arbeit angiebt, wird als das mechanische Wärmeäquivalent bezeichnet.

Die Thatsache der Aequivalenz (Gleichwerthigkeit) von Wärme und mechanischer Arbeit findet ihre Erklärung in der Annahme, dass die Wärme ein Bewegungszustand der kleinsten Körpertheilchen — eine Molekularbewegung — ist. (Vergl. S. 116.) Zur Erzeugung dieses Bewegungszustandes ist ein gewisses Maass einer Massenbewegung — eine bestimmte mechanische Arbeit — von Nöthen.

Erhaltung der Kraft. Schon aus den in der Mechanik bei Besprechung der Verhältnisse der schiefen Ebene (S. 38), des Keils und der Schraube (S. 39), des Hebels (S. 43) und der hydraulischen Presse (S. 54) angestellten Betrachtungen geht hervor, dass eine in einer bestimmten Zeit geleistete Arbeit nicht verloren geht, sondern in jedem folgenden gleich grossen Zeitabschnitt in gleicher Grösse erhalten bleibt. Dieser Grundsatz gilt nach dem Vorhergehenden nicht nur für die mechanische Arbeit, sondern auch für die in der Form der Wärme auftretende Arbeit.

Mechanische Arbeit und Wärme sind beides Bewegungsarten (Massen- und Molekularbewegung) und daher Kraftleistungen oder Arbeit.

Was für die mechanische Arbeit und die Wärme erwiesen ist, gilt auch für die übrigen Arten der Arbeit, die Leistungen sonstiger Kräfte, und es lässt sich der allgemeine Grundsatz von der Erhaltung der Arbeit oder Kraftleistung in einem bestimmten Zeitabschnitt und damit das Gesetz von der Erhaltung der **Kraft** aussprechen (denn Kraft ist die in der Zeiteinheit geleistete Arbeit). Der Begründer dieses Gesetzes ist Robert Mayer (1842).

Kraft äussert sich übrigens nicht nur in dem Auftreten oder der Aenderung von Bewegungen, sondern auch z. B. in einem Druck, den ein ruhender Körper auf seine Unterlage ausübt, in

der elastischen Spannung einer aus ihrer Gleichgewichtsbeschaffenheit gebrachten Spiralfeder oder Gummischnur u. s. w. Beide Arten der Kraftäusserung unterscheidet man als bewegende Kraft und Spannkraft oder: Energie der Bewegung und Energie der Lage oder: kinetische Energie und potentielle Energie. (Letzterer Ausdruck ist zu verwerfen, da er in sich selbst einen Widerspruch enthält.)

12. Reibungselektricität.

Elektrische Grunderscheinungen. Wenn man ein Stück Bernstein oder Stangenschwefel, eine Stange Siegellack oder Hartgummi, einen Glasstab oder eine Glasröhre u. dergl. m. mit einem wollenen oder seidenen Lappen reibt, so nehmen jene Körper die Eigenschaft an, leichte Körper, wie Papierschnitzel, Flaumfedern u. s. w. anzuziehen. Nach kurzer Zeit der Berührung erfolgt Abstossung; aber wenn die zuerst angezogenen, dann abgestossenen Körperchen mit einem anderen Gegenstande in Berührung gekommen sind, werden sie von den geriebenen Körpern von neuem angezogen, darauf wieder abgestossen u. s. f.

Da diese Eigenschaft geriebener Körper, andere Körper anzuziehen, zuerst und zwar schon von den alten Griechen am Bernstein beobachtet wurde, ist sie Elektricität genannt worden (Bernstein = Elektron); die geriebenen Körper heissen elektrisch. Gilbert untersuchte die elektrischen Erscheinungen zum ersten Mal (im Jahre 1600) genauer.

Von den elektrischen Körpern unterschied man früher die anelektrischen; als aber Stephan Gray (1729) den Nachweis geführt hatte, dass auch diese elektrisirt werden können, den elektrischen Zustand aber leicht verlieren, weil sie ihn schnell auf grössere Entfernungen fortpflanzen, so ersetzte man jene Unterscheidung durch die zwischen Leitern und Nichtleitern. Zu den Nichtleitern gehören die zu Anfang genannten Körper; sie behalten ihre Elektricität, weil dieselbe an der Stelle, wo sie durch Reiben erzeugt worden ist, verbleibt; die Leiter geben ihre Elektricität von Molekül zu Molekül weiter und übertragen sie leicht auch auf andere Körper; nur dann vermögen sie die Elektricität zu bewahren, wenn sie rings von Nichtleitern umgeben: durch dieselben isolirt sind. Die Nichtleiter heissen daher auch Isolatoren. In der Mitte zwischen Leitern und Nichtleitern stehen die sogenannten Halbleiter.

Leiter sind: alle Metalle, Graphit, Lösungen von Säuren, Basen und Salzen; Halbleiter: trockenes Holz, Gesteine, Wasser, Alkohol, Aether, der thierische Körper, die meisten organischen Gewebe, feuchte Luft; Nichtleiter oder Isolatoren: Harze, Schwefel, Glas, Seide, Haare (Wolle), fette Oele, trockene Luft, trockene Gase, der luftleere Raum. (Gase in sehr verdünntem Zustande sowie glühende Gase oder Flammen sind Leiter der Elektricität.)

Man hänge einen leichten Körper, z. B. ein Holundermark-Kügelchen, isolirt auf, z. B. mittels eines Seidenfadens (Fig. 82), reibe einen Glasstab mit einem Stück wollenen Zeuges und nähere ihn der Kugel. Dann wird diese zunächst angezogen, bis sie den Glasstab berührt. Hierauf wird sie alsbald abgestossen.

Durch die Berührung mit dem (elektrisch gemachten) Glasstab ist die Kugel selbst elektrisch geworden. Zwei gleichartig elektrische Körper stossen sich also ab. Der Versuch verläuft in gleicher Weise, wenn statt des Glasstabes ein Hartgummistab benutzt wird: Die Kugel flieht vor demselben, wenn sie ihn zuvor, nachdem er elektrisch gemacht worden war, berührt hatte.

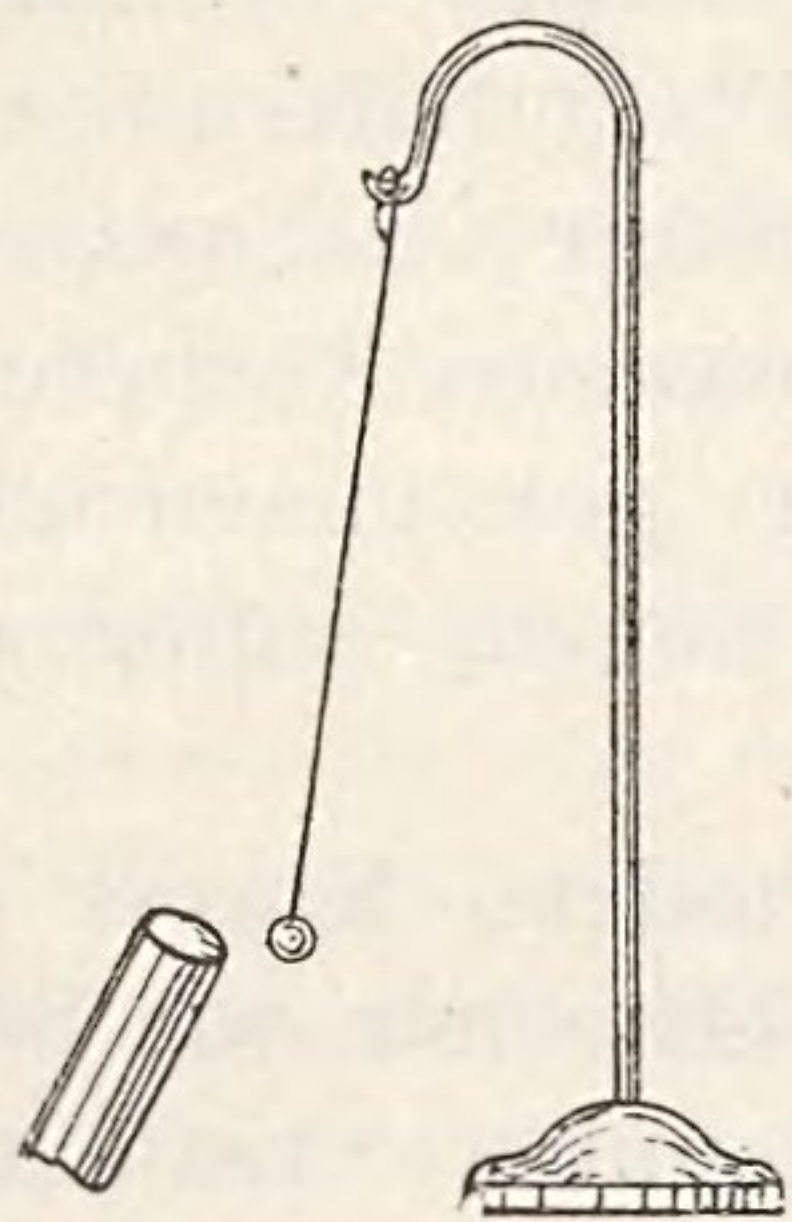


Fig. 82. Elektrisches Pendel.

Wenn man aber der Kugel, nachdem sie durch Berührung mit dem Glasstab elektrisch geworden war, den Hartgummistab nähert, zieht dieser sie an. Umgekehrt zieht der Glasstab die Kugel an, wenn sie zuvor durch Berührung mit dem Hartgummistab elektrisch geworden war. Hieraus folgt, dass ungleichartig elektrische Körper einander anziehen. Und es ist die Annahme am Platze, dass es zwei Arten von Elektricität giebt: Glas-Elektricität und Harz-Elektricität oder positive und negative Elektricität ($+E$ und $-E$).

Die ersten zusammenhängenden Versuche über die elektrische Abstossung rühren von Otto v. Guericke her (1672).

Würde man die Holundermarkkugel nicht isolirt aufhängen, z. B. an einem Leinenfaden, so würde die ihr mitgetheilte Elektricität sofort durch den Faden, da er zu den Leitern gehört, fortgeleitet werden, und die Kugel würde in allen Fällen bei Annäherung eines elektrischen Körpers angezogen werden wie jeder unelektrische Körper.

Der Apparat Fig. 82 heisst ein elektrisches Pendel und kann dazu verwendet werden, den elektrischen Zustand eines Körpers zu untersuchen. Man berührt mit dem zu untersuchenden Körper das Holundermarkkügelchen. Da-

nach nähert man letzterem nach einander einen geriebenen Glasstab und einen geriebenen Hartgummistab. Wird die Kugel von beiden angezogen, so war der fragliche Körper unelektrisch; wird sie vom Glasstab angezogen, vom Hartgummistab abgestossen, so war der Körper negativ elektrisch; wird sie vom Glasstab abgestossen und vom Hartgummistab angezogen, so war der Körper positiv elektrisch.¹⁾

Hypothesen über die Natur der Elektricität. Eine bequeme, wenngleich sicher falsche Vorstellung über das Wesen der beiden Arten der Elektricität ist die von Symmer (1759) begründete, dass positive und negative Elektricität unwägbare und unsichtbare Flüssigkeiten — Fluida seien, welche in allen unelektrischen Körpern in gleichen Mengen enthalten sind, so dass sie sich in ihren Wirkungen (wie zwei gleich grosse Zahlen mit entgegengesetztem algebraischem Vorzeichen) aufheben. Hiernach bezeichnet man die unelektrischen Körper als neutral elektrisch. Beim Reiben zweier Körper wird die neutrale Elektricität in positive und negative zerlegt, beide Körper werden elektrisch, und es geht auf den einen die gesammte $+E$, auf den andern die gesammte $-E$ über. (Dualistische Hypothese.)

Nachfolgende Reihe von Körpern (die sogenannte Spannungsreihe für Reibungselektricität) hat die Anordnung, dass jeder vorangehende Körper, mit irgend einem folgenden gerieben, positiv elektrisch wird, während jeder folgende Körper, mit irgend einem vorangehenden gerieben, negativ elektrisch wird: $(+)$ Pelz, Glas, Wolle, Seide, Holz, Metalle, Harze, Schwefel $(-)$.

Je weiter die geriebenen Stoffe in dieser Reihe auseinander stehen, desto günstiger ist der Erfolg. —

Der dualistischen Hypothese über das Wesen der Elektricität steht die von Benjamin Franklin (1750) begründete unitäre gegenüber, wonach der positiv elektrische Zustand eines Körpers in einem Ueberschuss, der negativ elektrische Zustand in einem Mangel an ein und demselben Fluidum besteht, während ein neutral-elektrischer Körper dieses Fluidum in einer gewissen normalen Menge enthält. Die in neuerer Zeit von Edlund vertretene Ansicht schliesst sich der unitären Hypothese an, insofern als nach ihr der Lichtäther sowohl die positiv wie die negativ elektrischen Erscheinungen hervorrufen und die positiv elektrischen Körper einen Ueberschuss, die negativ elektrischen einen Mangel an freiem Aether haben sollen; in unelektrischen (oder neutral elektrischen) Körpern soll der Aether im normalen Zustande, an die Körpermoleküle gebunden, enthalten sein. —

Positive und negative Elektricität lassen sich durch die Lichtenberg'schen Figuren unterscheiden. Man berühre eine isolirende Platte, z. B. eine Hartgummiplatte, an verschiedenen Stellen mit einem positiv, an anderen mit einem negativ elektrisch gemachten Körper. Dann haftet an diesen Stellen theils $+E$, theils $-E$. Ueberstreut man hierauf die Platte mit einem leichten Pulver,

¹⁾ „Anziehung“ und „Abstossung“ sind natürlich zunächst nur Worte, welche die Erscheinungen, um die es sich handelt, bildlich bezeichnen; in Wahrheit beobachtet man nichts weiter als eine Annäherung bezw. Entfernung der beweglichen (elektrischen oder unelektrischen) Körper.

z. B. Lycopodium- (Bärlapp-) Samen, so sammelt sich dasselbe an den elektrischen Stellen in eigenartigen Figuren an, und zwar an den positiv elektrischen Stellen in Form von Sternen, die baumförmig verzweigte Strahlen aussenden, an den negativ elektrischen Stellen in Form von rundlichen Flecken.

Elektrische Spannung. Ein Körper, in welchem durch Reiben Elektricität erzeugt worden oder auf den sie durch Berührung übertragen worden ist, heisst ein elektrisch geladener Körper. Er verliert seine Elektricität allmählich wieder, indem er sie an seine Umgebung abgiebt, wenn diese auch aus ziemlich guten Isolatoren bestehen sollte. Aus Spitzen und vorspringenden Kanten eines elektrisch geladenen Körpers strömt die Elektricität leicht aus, aus stumpfen, abgerundeten Enden dagegen nur schwer. — Das Ausströmen geschieht im Dunkeln unter Lichterscheinung; die $+E$ strömt in Gestalt grösserer leuchtender Büschel, die $-E$ in Gestalt leuchtender Punkte aus.

Steht ein elektrisch geladener Körper einem unelektrischen oder entgegengesetzt elektrischen Leiter gegenüber und sind beide durch einen isolirenden Körper — ein Dielektricum — getrennt, so findet ohne Weiteres kein Uebergang von Elektricität statt; erst wenn die Menge der Elektricität im erstgenannten Körper (bezw. in dem entgegengesetzt geladenen Leiter) sehr gross geworden ist und sich eine erhebliche elektrische Spannung (oder ein hohes elektrisches Potential) eingestellt hat, erfolgt ein Uebergang von Elektricität, und zwar unter Licht- und Wärmeerscheinung: in Gestalt eines elektrischen Funkens.

In Folge der Abstossung gleichartiger Elektricitäten sammelt sich die Elektricität, die einem isolirten Leiter mitgetheilt wird, auf seiner Oberfläche an (hier ist sie möglichst weit vertheilt). Dies zeigt z. B. folgender Versuch: Eine massive Metallkugel, die von einem (isolirenden) Glasstab getragen wird, umgebe man, nachdem sie elektrisch gemacht worden ist, mit zwei metallenen Halbkugeln, an denen isolirende Handgriffe angebracht sind. Nimmt man nach kurzer Berührung die Halbkugeln fort, so zeigt es sich, dass alle Elektricität der Vollkugel auf sie übergegangen ist, während die Kugel selbst unelektrisch zurückbleibt.

Elektroskop. Um geringe Mengen Elektricität nachzuweisen und ihrer Art nach zu erkennen, bedient man sich — statt des elektrischen Pendels — des Elektroskops (Fig. 83). Dasselbe besitzt als wesentlichen Bestandtheil einen Messingdraht (D), der oben einen kugelförmigen Messingknopf (K) trägt, während an seinem unteren Ende zwei neben einander hängende, leicht bewegliche Körper (gewöhnlich zwei Streifen Blattgold — B) befestigt sind. Um zu verhüten, dass die Blattgold-Streifen oder Goldblättchen beschädigt werden, um Luftströmungen abzuhalten, durch die die

Goldblättchen bewegt werden könnten, und um einer schnellen Zerstreuung der den Goldblättchen mitgetheilten Elektricität vorzubeugen, umgiebt man den unteren Theil des Elektroskops mit einer (von einem Holzständer getragenen) Glaskugel, durch deren Hals der Messingdraht, auf irgend eine Weise isolirt, hindurchtritt.

Wird der Messingknopf des Elektroskops mit einem elektrischen Körper berührt, so gehen die Goldblattstreifen, da sie mit gleichartiger Elektricität geladen werden, aus einander.

Aber diese Spreizung tritt bereits ein, wenn der elektrische Körper — z. B. ein geriebener Harzstab — sich noch in einiger Entfernung von dem Messingknopf befindet, und wird um so bedeutender, je mehr man den Stab dem Messingknopf nähert.

Diese Erscheinung erklärt man auf die Weise, dass der elektrische Harzstab die in dem Messingknopf nebst Draht und Goldblättchen enthaltene neutrale Elektricität in positive und negative zerlegt. Die $+E$ wird von dem negativ elektrischen Harzstabe angezogen und geht nach oben, in den Messingknopf, während die $-E$ abgestossen wird und sich in die Goldblättchen begiebt, die nun, weil gleichartig elektrisch, sich gegenseitig abstossen und daher auseinandergehen. — Beim Entfernen des Harzstabes fallen die Goldblättchen wieder zusammen.

Berührt man, während der Harzstab über den Messingknopf gehalten wird, den Messingdraht mit dem Finger, so leitet man dadurch die von dem Harzstab abgestossene $-E$ nach der Erde ab.

(Die erst gespreizten Goldblättchen fallen zusammen.) Zieht man alsdann den Finger weg und entfernt hierauf den Harzstab, so bleibt das Elektroskop mit $+E$ geladen, welche die Goldblättchen von neuem auseinandertreibt und sie in gespreizter Stellung erhält.

Nähert man jetzt dem Elektroskop einen positiv elektrischen Körper (z. B. eine geriebene Glasstange), so gehen die Goldblättchen noch weiter auseinander, weil die vorhandene $+E$ des Elektroskops und (durch Zerlegung) neu hervorgerufene $+E$ in die Goldblättchen hineingetrieben werden. Nähert man dagegen dem Elektroskop einen negativ elektrischen Körper (z. B. abermals einen geriebenen Harzstab), so nähern sich die Goldblättchen einander und fallen schliesslich ganz zusammen, weil ihnen einerseits ihre $+E$ durch Anziehung seitens des negativ elektrisch geladenen Körpers entzogen wird und sich in den Messingknopf be-

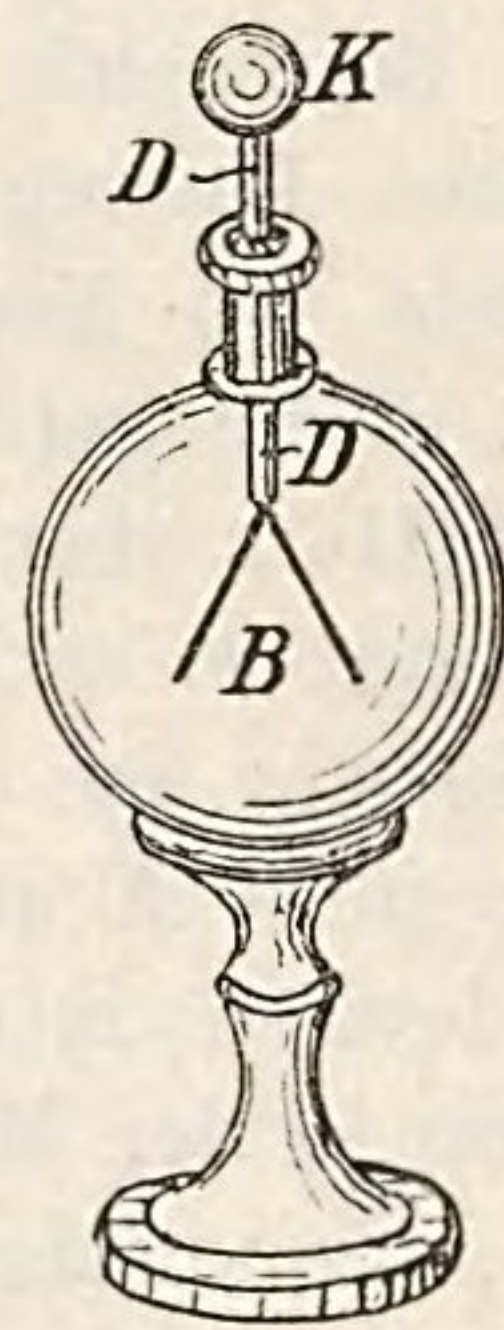


Fig. 83. Elektroskop.

giebt, und andererseits vielleicht — E neu entsteht, die sich mit der $+$ E vereinigt und sie neutralisirt. Nähert man endlich dem Elektroskop einen unelektrischen Körper, so ändern die Goldblättchen ihre Stellung nicht.

Entsprechende Erscheinungen zeigen sich, wenn das Elektroskop anfangs mit — E geladen wird.

Diese Erscheinungen ermöglichen es, die Elektricitätsart, die ein Körper besitzt, festzustellen.

Influenz-Elektricität. Wie wir gesehen haben, kann man einen Körper (im Vorstehenden das Elektroskop, insbesondere die Goldblättchen) mit Elektricität laden oder elektrisch machen, ohne ihm Elektricität durch Berührung mitzutheilen. Jene elektrische Einwirkung aus der Entfernung wird als elektrische Vertheilung oder Influenz bezeichnet.

Eine solche elektrische Vertheilung findet nun übrigens auch bei der elektrischen Ladung mittels Berührung statt, wie folgender Versuch lehrt: Man berühre den Messingknopf eines Elektroskops mit einem elektrischen Körper, z. B. einem geriebenen Harzstabe; dann gehen die Goldblättchen auseinander; sie fallen aber wieder zusammen, wenn man den Harzstab entfernt. Dies kann nur so erklärt werden, dass der Harzstab bei der Berührung, in gleicher Weise wie bei der blossen Annäherung, die neutrale Elektricität des Elektroskops in $+$ E und — E zerlegt, die $+$ E anzieht und die — E abstösst, so dass sich letztere in die Goldblättchen begiebt und diese auseinandertreibt, während erstere in der Messingkugel festgehalten wird; wenn nun der Harzstab entfernt wird, vereinigen sich die beiden Elektricitäten im Elektroskop wieder zu neutraler Elektricität, so dass die Goldblättchen zusammenfallen.

Wenn man den negativ elektrischen Harzstab dem Elektroskop nähert und durch Berührung des Messingdrahts mit dem Finger die abgestossene — E ableitet, so ist die im Elektroskop (Messingknopf) zurückbleibende $+$ E so lange gebunden, d. h. sie kann sich nicht frei bewegen und nicht frei wirken, als der Harzstab sich in der Nähe des Messingknopfes befindet. Erst mit der Entfernung des Harzstabes wird die $+$ E frei, verbreitet sich über den ganzen (isolirten) Leiter und treibt die Goldblättchen auseinander (bringt sie zur Divergenz).

Dass man einen leicht beweglichen Leiter (Holundermarkkugeln) oder einen Isolator durch Berührung mit einem elektrischen Körper mit (freier positiver oder negativer) Elektricität laden kann, beruht darauf, dass im ersten Falle — vorausgesetzt, dass der elektrische Körper negativ elektrisch ist — die durch Influenz erregte $+$ E sich mit der — E des elektrischen Körpers vereinigt und der Leiter wegen der in ihm verbleibenden — E alsbald fortgestossen wird, und dass im zweiten Falle auch jene Vereinigung stattfindet, während die abgestossene — E wegen der Isolation nicht zu der $+$ E zurück und sich mit ihr wieder vereinigen kann.

Ebenso wie die elektrische Ladung eines Leiters durch Berührung mit

einem elektrischen Körper ist auch seine durch Ueberspringen eines Funkens erfolgende Ladung zu erklären. Wenn ein z. B. negativ elektrischer Körper einem Metallgegenstande gegenüber gehalten wird, so tritt in letzterem eine Spaltung der neutralen Elektricität in $+E$ und $-E$ ein; befindet sich der elektrische Körper dem Metallgegenstande nahe genug, so erfolgt eine Vereinigung der $-E$ jenes mit der $+E$ des letzteren unter Funkenerscheinung durch die trennende Luftschicht hindurch, und der Metallgegenstand bleibt negativ (also gleich dem ihm genäherten Körper) geladen.

Reibungs-Elektrisirmaschine. Zur Erzeugung grösserer Mengen von Elektricität dient die Elektrisirmaschine. Wir unterscheiden die (1672 von Otto v. Guericke erfundene) Reibungs-Elektrisir-

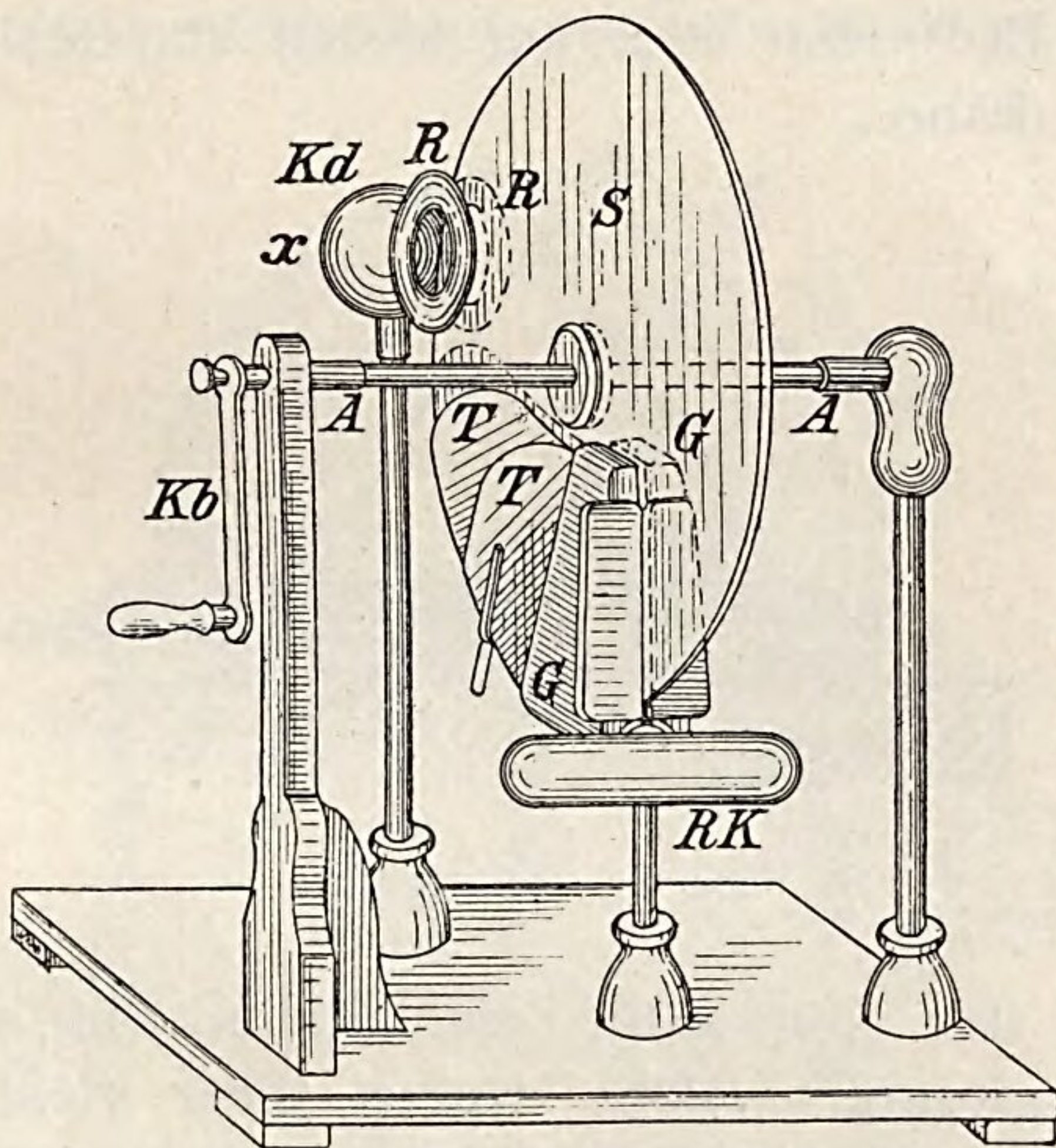


Fig. 84. Reibungs-Elektrisirmaschine.

maschine und die Influenz-Elektrisirmaschine. Die wesentlichen Teile der Reibungs-Elektrisirmaschine (Fig. 84) sind: der geriebene Körper (eine Glasscheibe S , die von der isolirenden Achse A getragen wird und mittels der Kurbel Kb in Umdrehung versetzt werden kann); das Reibzeug (dasselbe besteht aus einer etwas federnden, hölzernen Gabel GG , welche innen zwei mit Kienmayer'schem Amalgam — 1 Theil Zinn, 1 Theil Zink und 2 Theile Quecksilber — bestrichene Reibkissen trägt und gegen die Glasscheibe drückt; die Gabel wird von einem isolirenden Glasstab getragen; die bei ihrer Umdrehung erzeugte Elektricität wird durch die Taffetlappen TT vor Zerstreuung in die Luft geschützt); der Konduktor (oder Elektricitätssammler) Kd nebst dem Saugapparat RR (letzterer besteht aus zwei Holzringen, zwischen welchen die Glasscheibe läuft; an den der Scheibe zugekehrten Seiten sind Rinnen in die

Ringe eingeschnitten, die mit Metallspitzen ausgekleidet sind; in diese strömt die auf der Scheibe durch Reibung erzeugte Elektricität ein und wird nach dem Konduktor, den eine hohle Messingkugel darstellt, geleitet; der Konduktor wird von einem isolirenden Glasstab getragen).

Während nun bei der Drehung der Glasscheibe die in Folge der Reibung am Reibzeug auf ihr erzeugte $+E$, durch die Taffetlappen TT geschützt, dem Konduktor zugeführt wird, entsteht im Reibzeug selbst $-E$, welche man ableiten muss, damit sie sich nicht alsbald wieder mit jener $+E$ vereinige. Diese Ableitung geschieht durch den Reibzeug-Konduktor RK , an dem man eine zum Tisch, zum Erdboden oder am besten zur Gasleitung führende Kette befestigen kann.

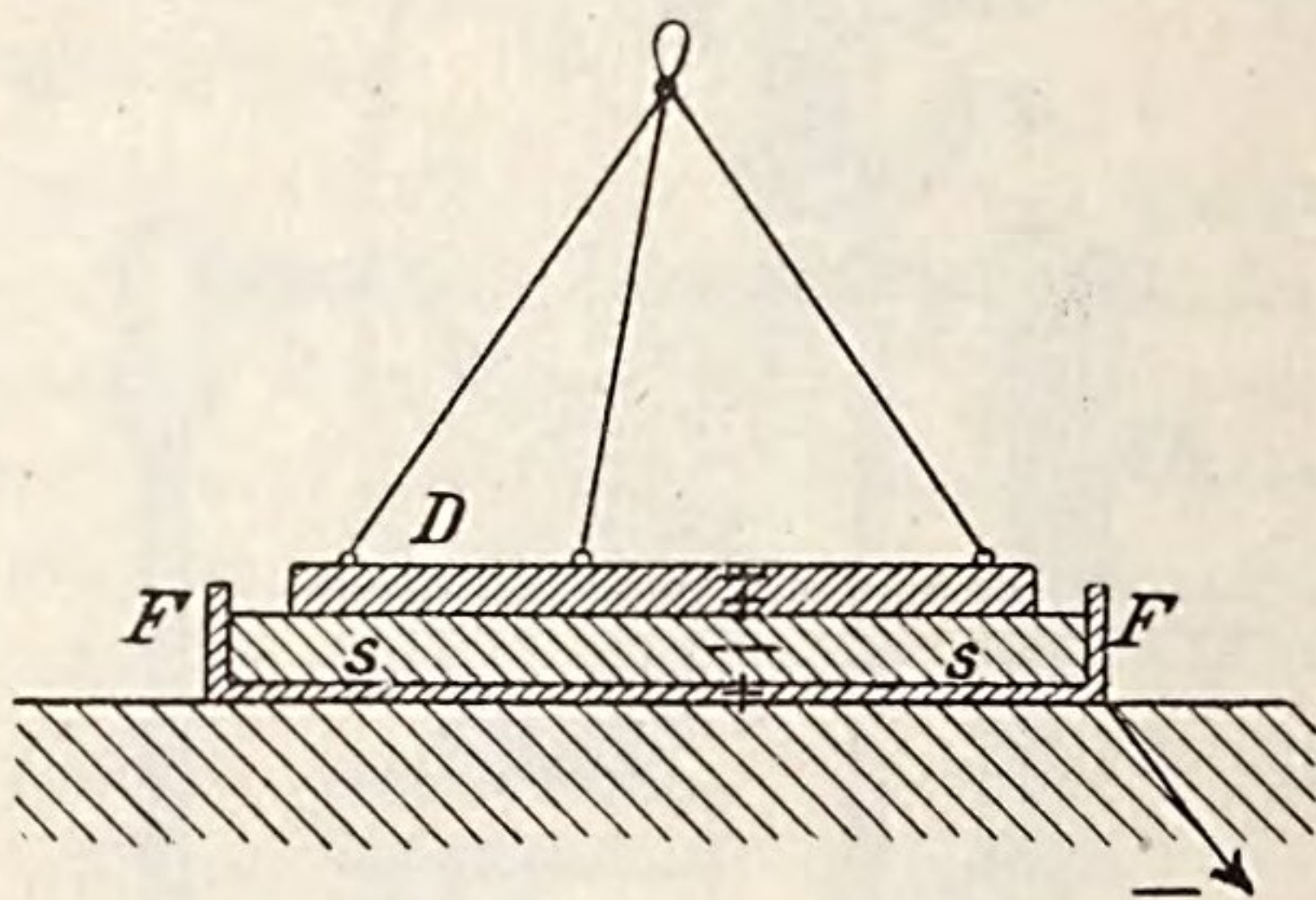


Fig. 85. Elektrophor.

Bei x trägt der Konduktor eine kleine (in der Figur nicht sichtbare) Messingkugel, welche wegen ihrer kleineren Oberfläche die Spannung der auf sie überströmenden Elektricität erhöht.

Elektrophor. Ehe wir die Influenz-Elektrisirmaschine besprechen, fassen wir einen anderen Apparat ins Auge, der ebenfalls auf den Gesetzen der elektrischen Influenz beruht und zur Erzeugung grösserer Elektricitätsmengen dient. Es ist das Elektrophor. (Volta, 1775.) Die wesentlichen Theile desselben sind eine Scheibe aus nichtleitendem Stoffe (Fig. 85, s) und ein leitender Deckel (D), der von isolirenden Seidenschnüren getragen wird, bezw. mit einer isolirenden Handhabe versehen ist. Die Scheibe ruht entweder auf einer leitenden Unterlage oder sie ist in einer besonderen leitenden Form (F) enthalten. Will man den Apparat benutzen, so nimmt man den Deckel fort und macht die Scheibe (s) — am besten durch Schlagen mit einem Fuchsschwanz — negativ elektrisch. Hiernach setzt man den Deckel auf; alsbald wird durch Influenz von der Scheibe aus seine neutrale Elektricität in $+E$ und $-E$ zerlegt. Durch Berührung mit dem Finger leitet man

die abgestossene $-E$ ab, während die $+E$ in gebundenem Zustande (gebunden durch die $-E$ der Scheibe) zurückbleibt. Wird nun der Deckel von der Scheibe entfernt, so wird die $+E$ des ersteren frei, so dass sie an einen anderen Körper abgegeben werden kann. Es geschieht dies unter Funkenerscheinung. Setzt man den Deckel nach erfolgter Entladung wieder auf die Scheibe auf, so tritt abermals eine Scheidung seiner neutralen Elektricität ein, und man kann von neuem eine gewisse Menge $+E$ vom Deckel auf einen anderen Körper übertragen. Dies Verfahren kann fortgesetzt wiederholt werden, weil die $-E$ der Scheibe erhalten bleibt, und zwar aus folgendem Grunde: Die Scheibe wirkt nicht nur nach oben auf den Deckel vertheilend, sondern auch nach unten auf die

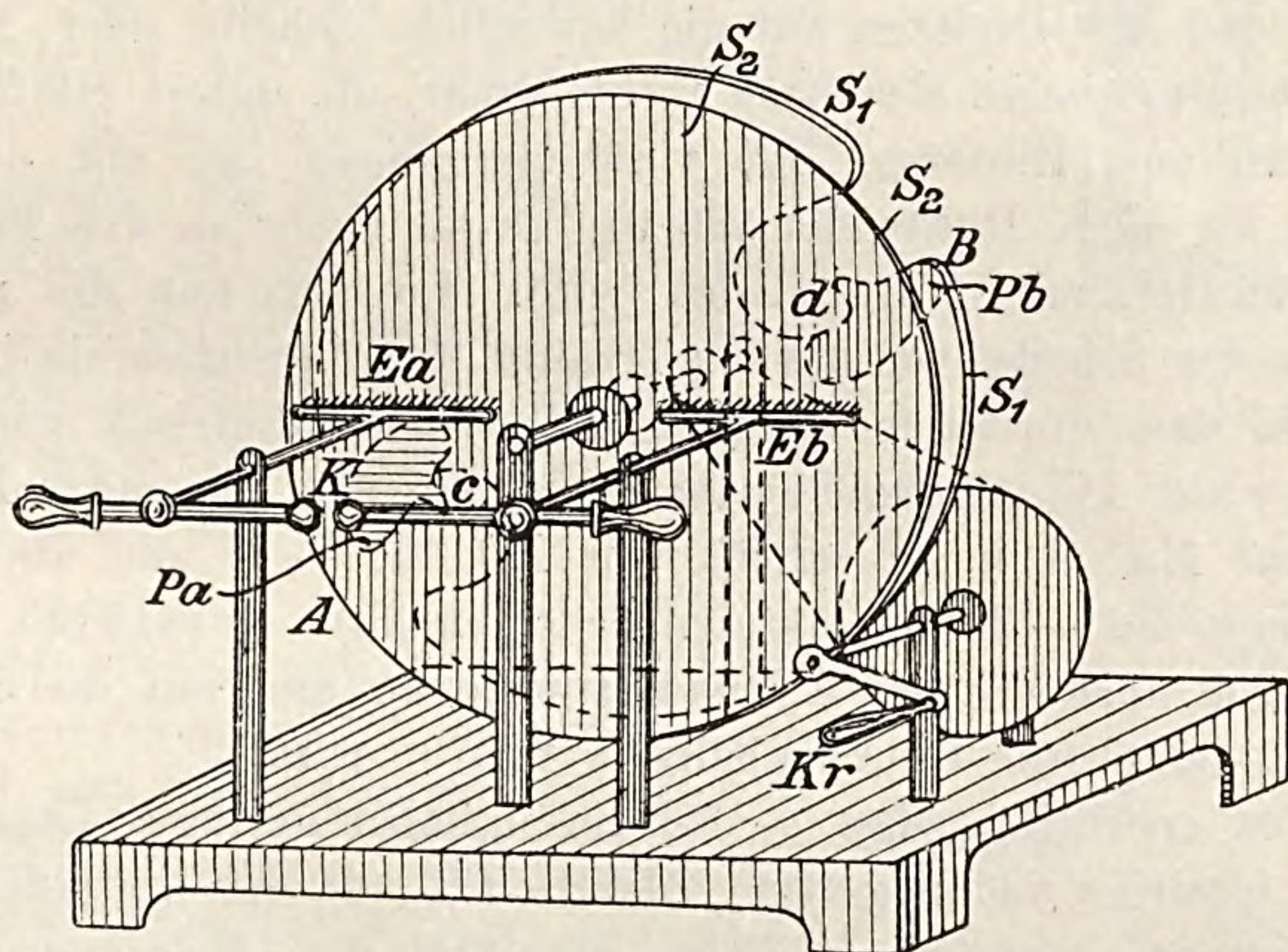


Fig. 86. Influenz-Elektisirmaschine.

leitende Form, deren $-E$ abgestossen wird und durch den Tisch u. s. w. nach dem Erdboden entweicht, während die $+E$ der Form von der $-E$ der Scheibe zurückgehalten und diese ihrerseits von jener festgehalten wird.

Influenz-Elektisirmaschine. Die Influenz-Elektisirmaschine (Holtz, 1865) besteht aus zwei kreisförmigen, mit den Flächen einander zugekehrten und einander sehr nahe befindlichen (der besseren Isolirung halber gefirnissten) Glasscheiben von ungleicher Grösse. Die grössere, hintere (Fig. 86, S_1) steht fest, während die kleinere, vordere durch eine Kurbel (Kr) und die Vermittlung einer Treibschnur in Umdrehung versetzt werden kann. Die grössere, feststehende Scheibe besitzt an zwei einander diametral gegenüberliegenden Stellen ihres Umfanges Ausschnitte (A und B), neben denen der Rückseite der Scheibe Papierbelegungen (Pa und Pb)

aufgeklebt sind, welche die vorspringenden Papierspitzen c und d in die Ausschnitte hineinsenden. Diesen Papierbelegungen stehen auf der Vorderseite der kleineren, drehbaren Scheibe die beiden mit einer Reihe von Metallspitzen versehenen Einsauger Ea und Eb gegenüber, die zu den beiden Konduktorkugeln K hinführen.

Bei Beginn des Versuchs muss die Maschine geladen werden. Dies geschieht auf die Weise, dass man der einen Papierbelegung, z. B. Pa , eine geriebene Harzstange nähert und die Konduktoren bei K in leitende Verbindung setzt. Dann wird Pa negativ elektrisch; die $-E$ daselbst wirkt vertheilend auf die neutrale Elektricität des (metallischen und daher leitenden) Einsaugers Ea ; die in demselben gebildete $+E$ strömt, von der $-E$ in Pa angezogen, aus den Metallspitzen auf die bewegliche Scheibe über, die $-E$ dagegen begiebt sich, von der $-E$ in Pa abgestossen, über K nach Eb . Von hier aus strömt sie aus den Metallspitzen auf die bewegliche Scheibe über, so dass (vorausgesetzt, dass die Scheibe sich nach rechts dreht) die untere Hälfte derselben, da sie zuvor an dem Einsauger Eb vorübergegangen ist, mit $-E$ geladen wird, während die obere Hälfte der Scheibe, da sie zuvor an dem Einsauger Ea vorübergegangen ist, mit $+E$ geladen wird. Kommen nun die positiv elektrischen Theile der Scheibe vor die Papierspitze d , so schicken sie in diese ihre $+E$ hinein, so dass die Papierbelegung Pb positiv elektrisch wird. Ist dies geschehen, so wirkt Pb in umgekehrter Weise auf den Einsauger Eb ein, wie anfangs Pa auf Ea , d. h. es strömt von Eb aus $-E$ auf die bewegliche Scheibe, wodurch die $-E$ der unteren Scheibenhälfte verstärkt wird, und $+E$ begiebt sich über K nach Ea und strömt von hier auf die Scheibe, wodurch die $+E$ der oberen Scheibenhälfte verstärkt wird.

Hieraus ist ersichtlich, dass — bei anfänglicher geringer Ladung der Maschine — die (positive und negative) Elektricität auf der beweglichen Scheibe fortgesetzt zunimmt — einfach in Folge der durch die Umdrehung, also durch eine mechanische Arbeit, bewirkten Influenz. (Vergl. das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, S. 138.)

Wenn man nun die Konduktoren bei K von einander entfernt, so kann die $-E$ von Ea nach Eb und die $+E$ von Eb nach Ea nicht mehr überströmen, sondern es sammelt sich jene (die $-E$) in der linken Konduktorkugel, diese (die $+E$) in der rechten Konduktorkugel an, und nur wenn die Spannung in den Konduktorkugeln zu gross geworden ist, erfolgt ein Ausgleich beider Elektricitäten in Gestalt eines die Luft zwischen den Konduktorkugeln (bei K) durchschlagenden Funkens.

Durch die Töpler'schen Influenz-Elektrisirmaschinen (1879) wird die Elektricität gleich anfangs selbst erzeugt und in gleicher Stärke erhalten.

Leydener Flasche; Entlader. Zur Aufspeicherung grösserer Mengen von Elektricität dient die Verstärkungsflasche, auch Leydener oder Kleist'sche Flasche genannt. (Erfunden von v. Kleist zu Kammin in Pommern 1746 und fast gleichzeitig von Cuneus und Musschenbroek zu Leyden.) Dieselbe besteht im Wesentlichen aus zwei guten Leitern, die durch einen isolirenden Körper

getrennt sind. Der letztere ist ein cylindrisches Glasgefäss (Fig. 87); dasselbe ist aussen und innen mit einer nicht bis zum oberen Rande reichenden Stanniol-Belegung versehen. Mit der inneren Belegung steht ein Messingdraht in leitender Verbindung, der oben eine Messingkugel trägt.

Berührt man die Messingkugel mit dem z. B. positiv geladenen Konduktor einer Elektrisirmaschine, während die äussere Belegung mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt wird (etwa durch die Hand, mit welcher man die Flasche hält — durch den Körper hindurch nach den Füßen), so wird nächst der Messingkugel auch die innere Belegung positiv elektrisch, wirkt vertheilend auf die neutrale Elektricität der äusseren Belegung und bindet die daselbst entstehende $-E$, während die $+E$ nach dem Erdboden abfliesst. Da sich nun die $+E$ der inneren Belegung und die $-E$ der äusseren Belegung gegenseitig anziehen, so wird nicht nur die letztere ($-E$) durch die erstere ($+E$) gebunden, sondern auch umgekehrt die $+E$ der inneren Belegung durch die $-E$ der äusseren.

Die Entladung der Flasche geschieht auf die Weise, dass man beide Belegungen (die Messingkugel mit der äusseren Belegung) in leitende Verbindung setzt. Man bedient sich dazu am besten eines Entladers, welcher an einer isolirenden Handhabe (Glasstab) zwei gegen einander drehbare, am Ende mit Metallknöpfen versehene Metallbügel besitzt. (Fig. 88.)

Legt man den unteren Metallknopf an die äussere Belegung der Leydener Flasche und nähert den oberen Metallknopf der Messingkugel, so schlägt bei geeigneter Entfernung (entsprechend der Grösse der Ladung, welche der Flasche ertheilt war) von der Messingkugel nach dem Metallknopf des Entladers ein Funke über: der Entladungsfunke, der beträchtliche Länge und Stärke erlangen kann. Er ist von einem mehr oder minder heftigen Knall begleitet, der von der entstandenen Lufterschütterung herrührt.

Mit der Wirkungsweise der Leydener Flasche im Wesen übereinstimmend ist diejenige der Franklin'schen Tafel.

Mehrere Leydener Flaschen, deren äussere Belegungen einerseits und deren innere Belegungen andererseits unter einander in leitende Verbindung gesetzt sind, bilden eine elektrische Batterie.

Wirkungen der elektrischen Entladung. Die hauptsächlichsten Wirkungen der elektrischen Entladung sind folgende: Der schon erwähnte Funke nebst Knall bei Unterbrechung der Leitung (Einschaltung eines Dielektriums, d. h.

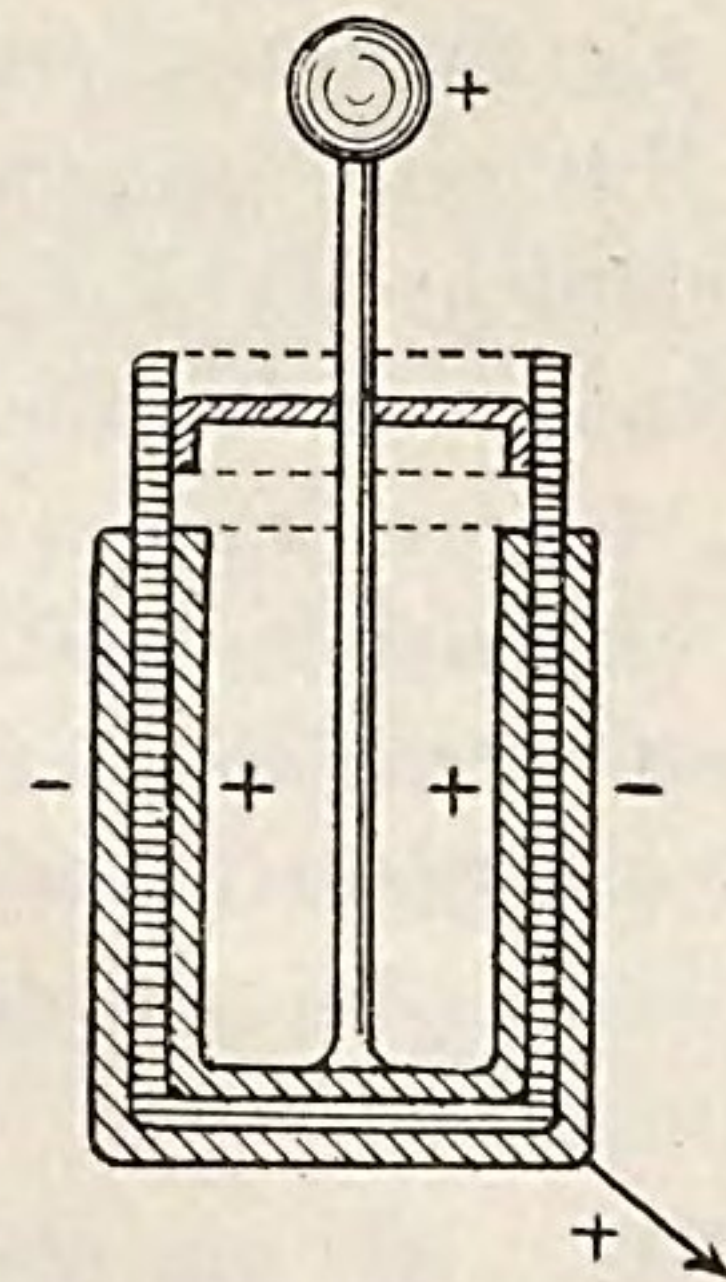


Fig. 87. Leydener Flasche.

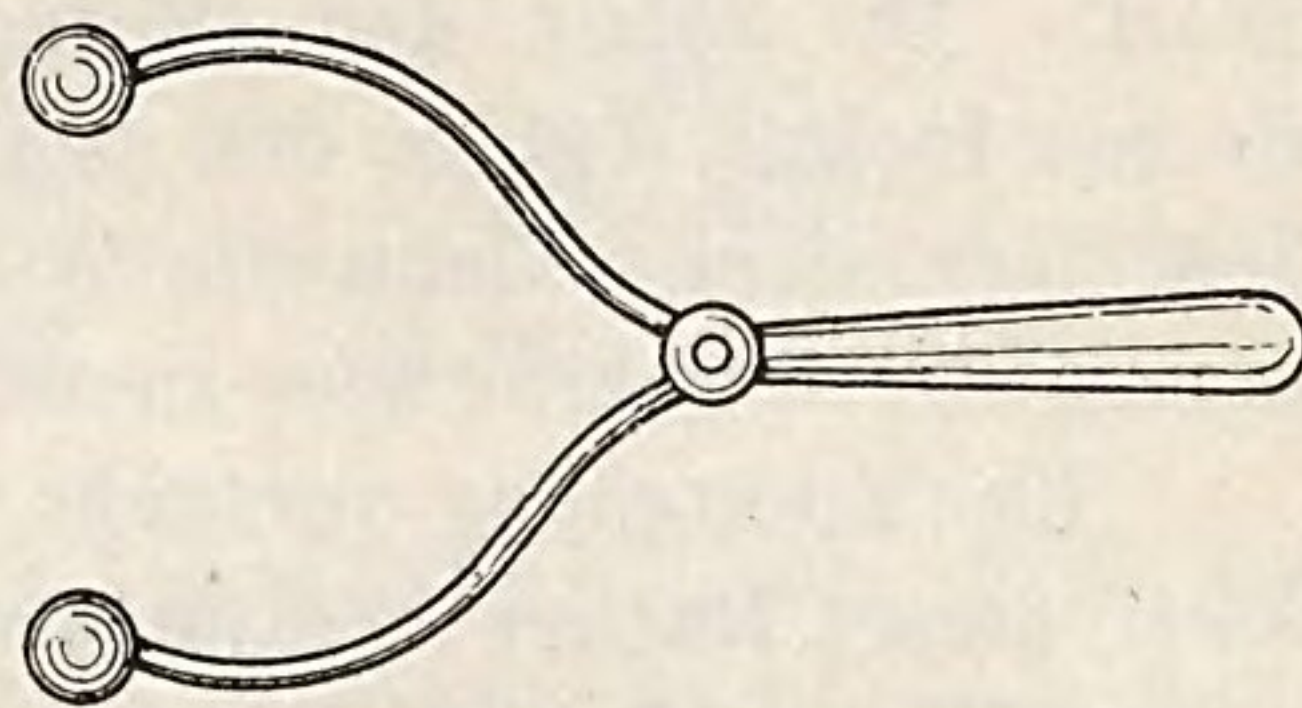


Fig. 88. Entlader.

eines isolirenden Mittels — S. 142); das Durchschlagen von Kartenblättern und Glasscheiben seitens des Entladungsfunkens (das in einem Kartenblatt entstehende Loch hat beiderseits aufgeworfene Ränder); die Entzündung brennbarer Stoffe (z. B. Alkohol und Aether); die Erwärmung eines dünnen Metalldrahtes, durch welchen eine hinreichend grosse Elektrizitätsmenge entladen wird, desgl. die Erwärmung der Luft (elektrisches Luftthermometer von Riess, 1837); Ozonbildung in der Luft (eigenthümlicher Geruch, der auch von einer in Thätigkeit befindlichen Elektrisirmaschine ausgeht); die Einwirkung auf die Nerven (z. B. bei der Durchleitung eines mässigen Entladungsschlages durch beide Hände und Arme), Muskelzuckungen.

Aehnliche physiologische Erscheinungen wie beim Entladungsschlag zeigen sich, wenn man die Elektrizität einer Elektrisirmaschine in den auf einem isolirenden Gegenstande (z. B. einem sog. Isolirschemel) stehenden menschlichen Körper einströmen lässt und diesem nun einen Leiter nähert. Hier lässt sich ferner ein Sträuben der Haare beobachten. Das nicht unterbrochene Durchströmen der Elektrizität durch den Körper äussert keine physiologische Wirkung.

Geschwindigkeit des elektrischen Entladungsschlages = 60 000 Meilen in der Sekunde.

Blitz. Als ein elektrischer Funke von ungeheurer Grösse ist der Zickzackblitz anzusehen. Der Donner entspricht dem den Funken begleitenden Knall. Er folgt dem Blitze, weil der Schall sich langsamer fortpflanzt als das Licht. Träger der atmosphärischen Elektrizität sind in erster Linie die Gewitterwolken, sodann die Wolken überhaupt und schliesslich die Luft im Allgemeinen. Franklin wies zuerst die elektrische Natur des Gewitters nach (1749).

Ihre Entstehung verdankt die atmosphärische Elektrizität nach der vom Verfasser dieses Buches begründeten Hypothese der Reibung des atmosphärischen Wassers an den verschiedenen Körpern der Erdoberfläche, dem in der Luft befindlichen Staube u. s. w. und — in erster Linie — der trockenen Luft selber. Das atmosphärische Wasser (Wasserdampf und Wassertröpfchen) wird dabei positiv elektrisch. — Starke elektrische Erscheinungen beim Ausströmen von Wasserdampf, Wassertröpfchen und Asche aus Vulkanen. — Die Sankt-Elmsfeuer bestehen in einer Ausströmung von Elektrizität (besonders nach Schneegestöbern) aus spitzen Gegenständen: Baumzweigen, Schiffsmasten, Thürmen u. s. w., in Form von Lichtbüscheln.

Der Blitzableiter (Franklin, 1749) besteht aus einer eisernen Auffangestange mit vergoldeter oder Platin-Spitze (Schutz gegen Oxydation) und aus der Ableitung, die von Kupfer sein und tief ins feuchte Erdreich geführt werden muss. Schwebt eine Gewitterwolke über einem mit Blitzableiter versehenen Gebäude, so wird sie allmählich entladen, indem im Blitzableiter Influenz-Elektrizität entsteht und die der Elektrizität der Wolke entgegengesetzte Elektrizität aus der Spitze des Blitzableiters ausströmt und die Wolken-Elektrizität neutralisirt. Schlägt der Blitz ein, so geht er durch den Blitzableiter, ohne Schaden anzurichten, in den Erdboden.

13. Magnetismus.

Natürliche und künstliche Magnete. Gewisse Eisenerze, vor allem der Magneteisenstein (Eisenoxyduloxyd), haben die Eigenschaft, Eisentheile anzuziehen. Derartige Erze heissen natürliche Magnete (nach der Stadt Magnesia in Kleinasien, in deren Nähe sie zuerst — und zwar bereits im Alterthum — gefunden wurden).

Die Anziehung der natürlichen Magnete ist nicht an allen Punkten derselben gleich gross; an einzelnen Stellen, die man Pole nennt, ist sie am stärksten, während sich dazwischen eine unwirksame Stelle (der Indifferenzpunkt) befindet.

Wenn man einen Stahlstab mit einem natürlichen Magnet bestreicht, so wird jener ebenfalls magnetisch; man nennt ihn einen künstlichen Magnet oder Stahlmagnet. Das Bestreichen muss in der Weise erfolgen, dass die beiden Hälften des Stahlstabes mit entgegengesetzten Polen des natürlichen Magnets berührt werden. (Einfacher Strich.)

Auch an einem Stahlmagnet lassen sich zwei Pole (an den beiden Enden des Stabes) erkennen, deren Verbindungslinie magnetische Achse genannt wird.

Hängt man einen Stahlmagnet in horizontaler Lage frei beweglich auf, so nimmt er nach einigen Schwankungen eine ganz bestimmte — annähernd von Norden nach Süden gerichtete — Lage ein. Hiernach nennt man den nach Norden zeigenden Magnetpol den Nordpol, den nach Süden zeigenden den Südpol des Magnets. — Bestreicht man mit einem Stahlmagnet wiederum einen Stahlstab, so erhält die mit dem Nordpol des Magnets bestrichene Hälfte den magnetischen Südpol, die mit dem Südpol bestrichene Hälfte den magnetischen Nordpol.

Ein dünner, an den Enden spitz zulaufender Stahlmagnet, der (mittels eines Hütchens) wagerecht frei beweglich auf einer Stahlspitze ruht, heisst eine Magnetnadel. (Gilbert, 1600.) (Fig. 89.)

Magnetische Anziehung und Abstossung. Wird der Nordpol eines Stahlmagnets nach einander den beiden Polen einer Magnetnadel genähert, so zeigt es sich, dass er nur den Südpol anzieht, den Nordpol aber abstösst; umgekehrt verhält sich der Südpol des Magnets; so dass sich das Gesetz ergibt:

Gleichnamige Pole stossen sich ab, ungleichnamige Pole ziehen sich an.

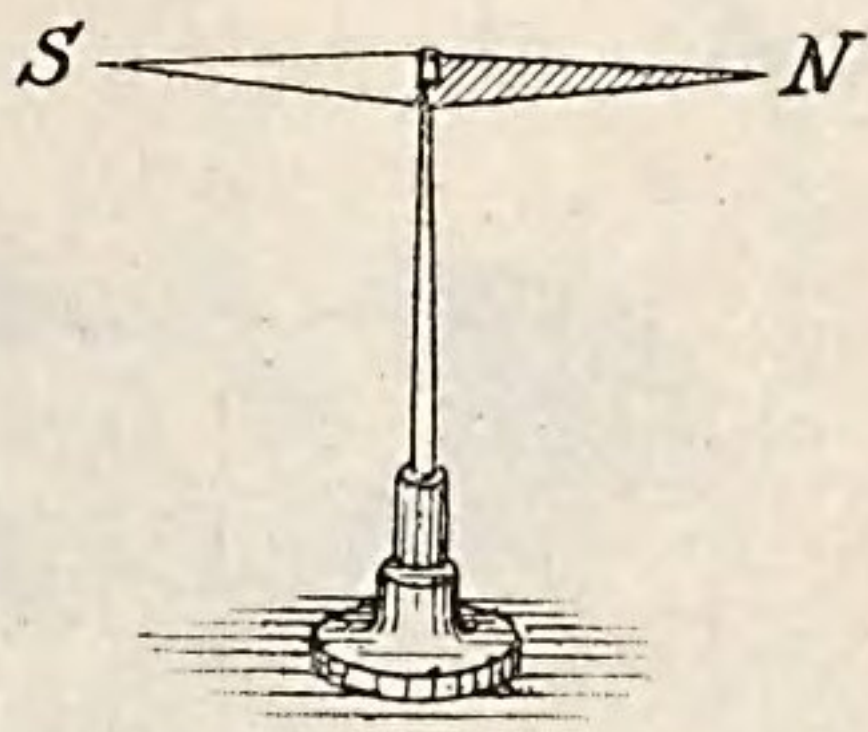


Fig. 89. Magnetnadel.

Auf Grund dieses Gesetzes lässt sich feststellen, ob ein Eisenstab magnetisch ist und wie seine Pole angeordnet sind. Unmagnetisch ist er, wenn eines seiner Enden (gleichgiltig, welches) beide Pole einer Magnetnadel gleichmässig anzieht; magnetisch, wenn das Ende einen Pol anzieht, den anderen abstösst; zieht es z. B. den Südpol an, so ist es selbst ein Nordpol.

Magnetische Influenz. Wenn man einem unmagnetischen Eisenstück den einen Pol, z. B. den Nordpol, eines Magnets nähert, so wird es ebenfalls magnetisch, und zwar wird dasjenige Ende des Eisenstücks, welches dem Nordpol des Magnets zugekehrt ist, zum Südpol, während das entgegengesetzte zum Nordpol wird. — Das magnetisch gewordene Eisenstück ist nunmehr im Stande, seinerseits ein zweites Eisenstück zu magnetisieren u. s. f.

Diese Erscheinung erinnert vollkommen an die elektrische Influenz (S. 143 und 144); sie wird als magnetische Influenz bezeichnet.

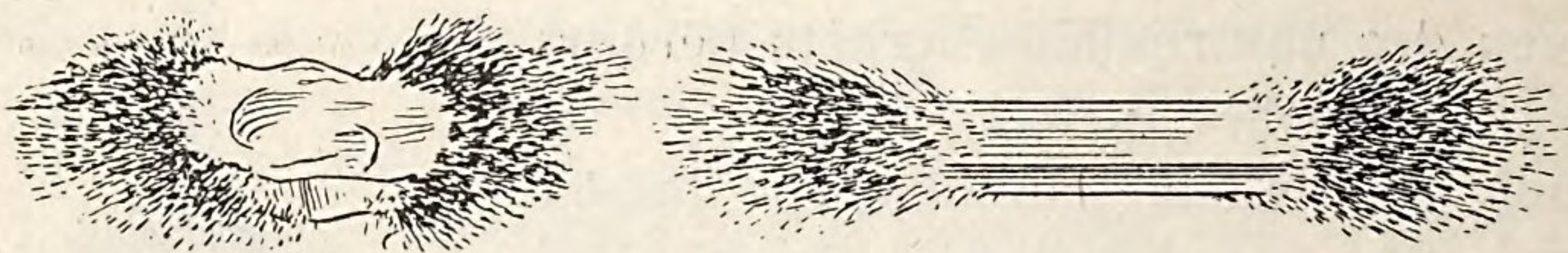


Fig. 90. Natürlicher und künstlicher (Stahl-)Magnet.

Auf ihr beruht es, dass ein in Eisenfeilspähne eingesenkter Pol eines Magnetstabes sich mit einem Büschel oder Barte reihenweis an einander hängender Spähne bedeckt (Fig. 90).

Besondere Erscheinungen des Magnetismus. Der magnetischen Influenz gegenüber verhalten sich weiches Eisen und Stahl verschieden. Jenes nimmt den Magnetismus (die magnetische Eigenschaft und Kraft) alsbald in vollem Maasse an, verliert sie aber sofort wieder nach Entfernung des Magnets. Aehnlich verhält sich das weiche Eisen bei der Magnetisirung durch Bestreichen mit einem Magnet. Der Stahl dagegen ist schwerer magnetisierbar, behält aber seinen Magnetismus länger und vollständiger bei. — Dies lässt sich so erklären, dass der Stahl im Gegensatz zum weichen Eisen sowohl der Trennung wie der Wiedervereinigung der beiden Magnetismen — Nord- und Südmagnetismus, die man (ähnlich wie in der Elektrizitätslehre zwei Arten der Elektrizität) annehmen kann — einen gewissen, beträchtlichen Widerstand entgegensetzt, den man als Koërcitivkraft bezeichnet, während dieser Widerstand im weichen Eisen gering ist.

Stärkere Wirkungen als ein gerader Magnetstab äussern die Hufeisenmagnete (Fig. 91) und die aus mehreren hufeisenförmigen Blättern oder Lamellen zusammengesetzten magnetischen Magazine.

Das vor die beiden Pole (*N* und *S*) des Hufeisenmagnets (Fig. 91) gelegte Stück weichen Eisens (*sn*) wird Anker genannt; auf dasselbe wirken *N* und *S*

durch Influenz, sich gegenseitig unterstützend; dadurch erhält der — auf diese Weise armirte — Magnet eine grössere Tragkraft.

Wird ein Stahlstab mittels eines Hufeisenmagnets magnetisirt, so geschieht dies durch den sogenannten Doppelstrich, d. h. in der Weise, dass man beide Pole des Hufeisenmagnets auf die Mitte des Stahlstabes aufsetzt und nach dem einen Ende desselben — doch nicht darüber hinaus — bewegt, desgleichen zurück nach dem andern Ende u. s. f.; das letzte Mal wird nur bis zur Mitte gestrichen und dann abgehoben. Die im Stahlstab entstehenden Pole liegen auch hier — wie beim einfachen Strich (S. 151) — denen des Hufeisenmagnets entgegengesetzt.

Bricht man einen Magnetstab (z. B. eine magnetisch gemachte Stricknadel) entzwei, so ist jedes Stück ein vollständiger Magnet mit zwei Polen. Somit ist nicht etwa die ganze eine Hälfte eines Magnetstabes nordmagnetisch und die ganze andere Hälfte süd magnetisch, sondern in jedem Massentheilchen des Magnetstabes sind beide Magnetismen enthalten; dieselben sind nur in der Mitte des Stabes nach aussen unwirksam, weil sich daselbst die Wirkungen der (bei einander liegenden) Massentheilchen aufheben. Auch in einem unmagnetischen Eisenstabe sind alle Massentheilchen mit beiden Magnetismen versehen; nur sind sie nicht allesammt gleichgerichtet, sondern liegen ungeordnet durch einander, so dass ihre Wirkung nach aussen $= 0$ ist. Das Magnetisiren ist hiernach als nichts anderes denn eine die Massentheilchen ordnende oder richtende Kraft aufzufassen, und die Koërcitivkraft stellt sich demgemäss als ein Widerstand gegen diese richtende Kraft dar. (Vergl. S. 152.)

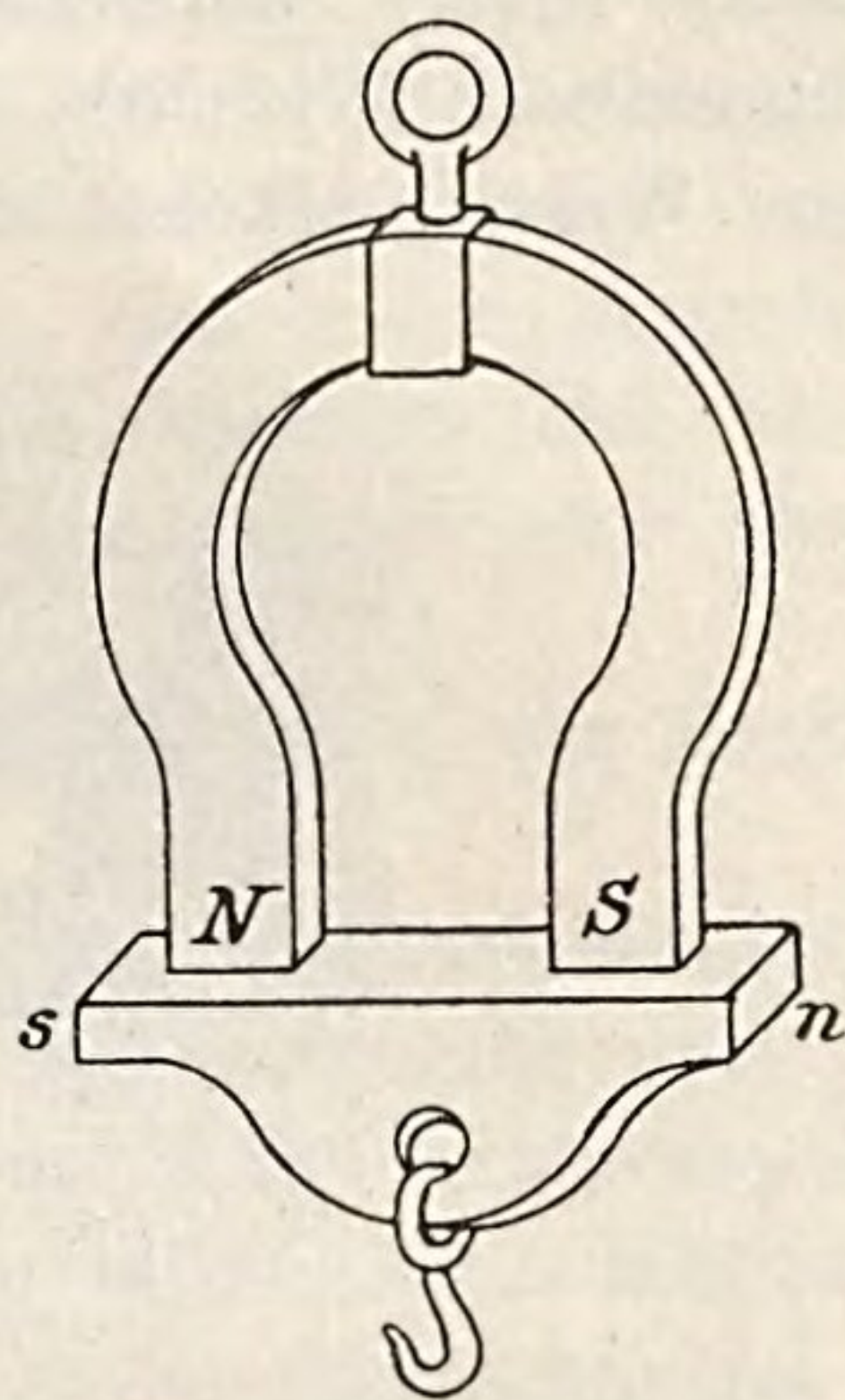


Fig. 91. Hufeisenmagnet.

Zu dieser Anschauung stimmt die Thatsache, dass Magnete durch plötzliche, starke Erschütterungen, sowie durch raschen Temperaturwechsel geschwächt werden (denn beiderlei Einflüsse wirken störend auf die Anordnung der kleinsten Theilchen). Glühhitze hebt den Magnetismus dauernd auf.

Ein Magnet wirkt auf Eisen nicht nur durch die Luft, sondern auch durch beliebige andere Körper (Papier, Glas u. s. w.) hindurch; dagegen wird die magnetische Wirkung durch eine dünne Eisenplatte, wenn sie dem Magnetpol ihre breite Fläche zukehrt, aufgehoben.

Wenn man auf ein über einen Magnet gelegtes Blatt Papier Eisenfeilspähne streut, so ordnen sich dieselben in den sogenannten magnetischen Kurven (Faraday's Magnetkraftlinien) an, welche von Pol zu Pol verlaufen, und in jedem ihrer Punkte die Richtung der magnetischen Kraft darstellen. (Fig. 92.)

Die Stärke der magnetischen Anziehung und Abstossung hängt ausser von der Grösse der wirksamen magnetischen Kraft auch von der Entfernung ab, und zwar gilt nach Coulomb (1784) das Gesetz, dass die Stärke oder Intensität, mit der zwei Magnetpole sich anziehen oder abstossen, den Mengen der auf einander wirkenden Magnetismen direkt, dem Quadrat ihrer Entfernung aber umgekehrt

proportional ist. — Das gleiche Gesetz gilt auch für die elektrische Anziehung und Abstossung. (Vergl. Newton's Gravitationsgesetz, S. 9.)

Magnetische und diamagnetische Körper. Die Eigenthümlichkeit, vom Magneten angezogen zu werden, besitzen ausser dem Eisen auch einige chemische Verbindungen desselben (Magneteisenstein und Titaneisen), sowie die chemischen Elemente Nickel und Kobalt.

Sehr starke magnetische Kräfte (wie sie die Pole eines Elektromagnets entwickeln — siehe später) üben auf alle Körper eine magnetische Einwirkung aus; hierbei aber zeigt sich folgender Unterschied im Verhalten der Körper: Die einen werden, zwischen die Pole eines Elektromagnets gebracht, von denselben angezogen und stellen sich in die Verbindungslinie beider Pole — magnetische Körper; die andern werden von den Polen abgestossen und stellen sich senkrecht zur Verbindungslinie derselben — diamagnetische Körper. (Faraday, 1845.) Magnetisch sind: Eisen, Nickel, Kobalt, Mangan, Platin u. s. w.; diamagnetisch: Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Blei, Silber, Kupfer, Gold u. s. w., ferner: Wasser, Alkohol, Schwefelsäure u. s. w.

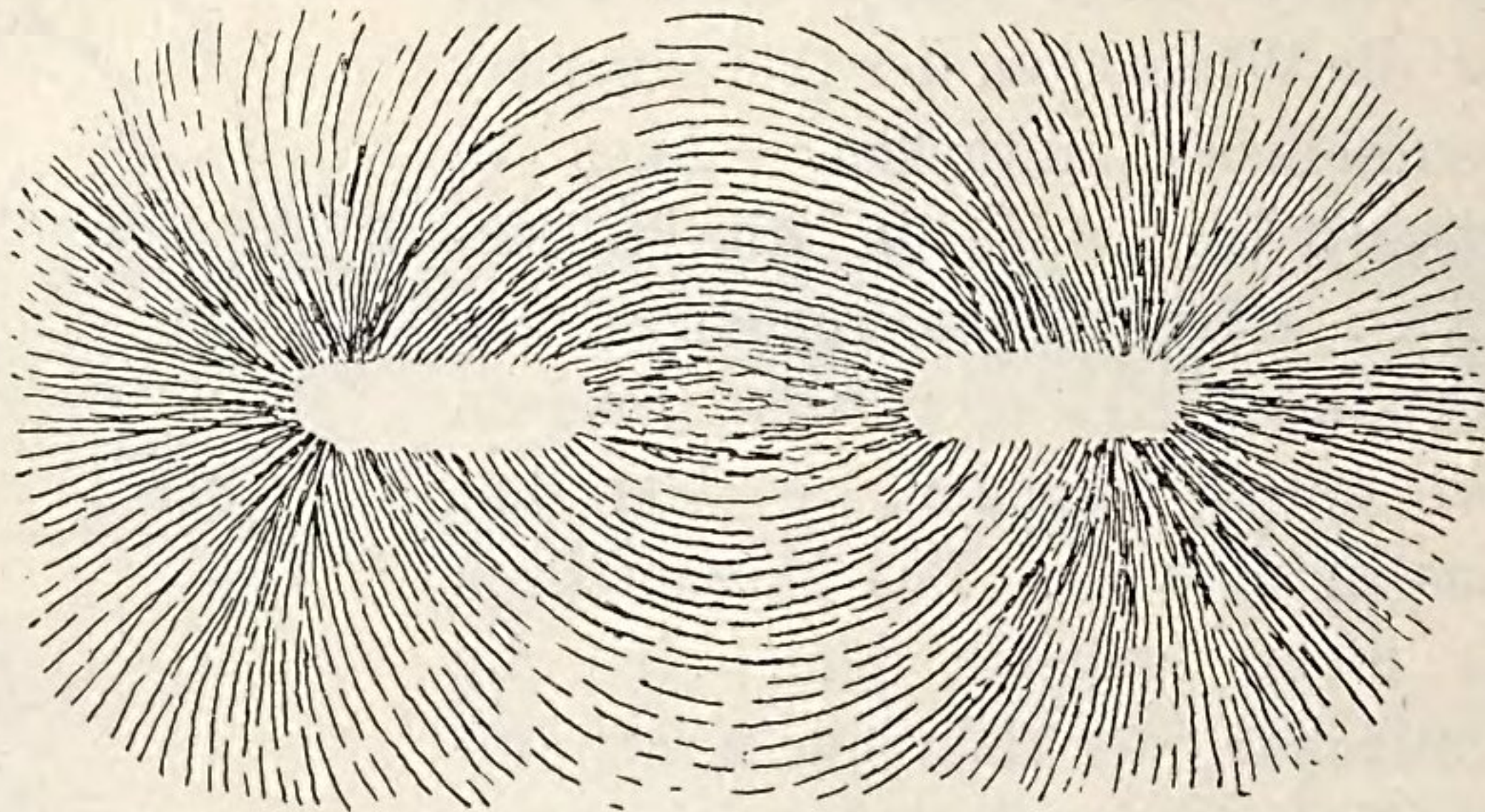


Fig. 92. Magnetische Kurven.

Erdmagnetismus; Deklination und Inklination. Die auf S. 151 beschriebene Erscheinung, wonach ein frei aufgehängter Magnetstab oder eine frei schwebende Magnetnadel eine von Norden nach Süden gerichtete Lage einnimmt, erklärt man durch die Annahme, dass der Erdkörper magnetisch ist. Nach dem auf S. 151 angeführten Gesetz über die magnetische Anziehung und Abstossung muss alsdann die nördliche Halbkugel Magnetismus von der Art des Südmagnetismus, die südliche Halbkugel Magnetismus von der Art des Nordmagnetismus besitzen.

Die geographischen Pole der Erde sind annähernd auch die magnetischen Pole. Genaue Beobachtungen zeigen indessen, dass die magnetische Achse einer Magnetnadel von der Meridianrichtung abweicht, und zwar so, dass das Nordende nach einem für unsere Gegenden westlich vom Nordpol gelegenen Punkte (auf der Insel Boothia Felix im hohen Norden von Amerika) hinzeigt. Dieser Punkt ist der magnetische Nordpol, der vom Kapitän John Ross thatsächlich (1831) erreicht worden ist. Der magnetische Südpol liegt südlich von der Ostküste Australiens. (James Ross, 1841.)

Die Abweichung der Magnetnadel vom geographischen (oder astronomischen) Meridian eines Ortes, in Winkelgraden ausgedrückt, heisst die magnetische Deklination des Ortes.

Verbindet man alle Orte gleicher Deklination auf der Erdoberfläche durch Linien mit einander, so erhält man ein System von Kurven, welche Isogonen genannt werden. Den Namen Agone trägt eine vom magnetischen Nordpol zum magnetischen Südpol verlaufende Linie, längs welcher die Magnetnadel keine Deklination besitzt, sondern genau nach dem geographischen Norden zeigt.

Als magnetische Meridiane bezeichnet man die die magnetischen Pole verbindenden Linien, welche an jedem Orte die Richtung der Magnetnadel angeben.

Hängt man eine Magnetnadel längs eines magnetischen Meridians in ihrem Schwerpunkte so auf, dass sie sich in vertikaler Richtung frei bewegen kann, so neigt sich auf der nördlichen Halbkugel das Nordende der Nadel dem Erdboden zu — eine Folge der stärkeren Anziehung des (auf der nördlichen Halbkugel näheren) magnetischen Nordpols. Die Abweichung der Nadel von der Horizontalrichtung heisst magnetische Inklinasion, eine in der angegebenen Weise aufgehängte Magnetnadel: Inklinationsnadel (wogegen eine auf die gewöhnliche Art aufgehängte oder frei schwebende Magnetnadel auch als Deklinationsnadel bezeichnet wird).

Am magnetischen Nordpol beträgt die Inklinasion 90° , d. h. das Nordende der Nadel zeigt senkrecht nach unten.

Auf der südlichen Halbkugel ist das Südende der Inklinationsnadel abwärts geneigt, und am magnetischen Südpol zeigt es senkrecht nach unten.

Linien gleicher Inklinasion heissen Isoklinen. Die Verbindungslinie sämtlicher Punkte der Erdoberfläche, an denen die magnetische Inklinasion $= 0$ ist, heisst der magnetische Aequator. Derselbe durchschneidet den geographischen Aequator in zwei Punkten, läuft also zum Theil nördlich, zum Theil südlich von diesem um die Erde.

Sowohl die Grösse der magnetischen Deklination wie die der magnetischen Inklinasion und desgleichen die der Stärke oder Intensität der erdmagnetischen Anziehung erfahren für die einzelnen, bestimmten Orte der Erdoberfläche gewisse Aenderungen, die theils periodische sind (hauptsächlich tägliche — die Magnetnadel flieht vor der Sonne), theils säkulare (durch Jahrhunderte in gleichem Sinne fortschreitende, nicht übersehbare), theils unregelmässige, welche plötzlich eintreten, schnell vorübergehen und u. a. mit den Nordlichtern im Zusammenhang stehen.

Anwendungen des Magnetismus. Die Magnetnadel wird als Busssole zu Winkelmessungen, im Kompass zur Orientirung in unbekannten Gegenden, hauptsächlich seitens der Schiffer auf offener See, benutzt. Der Kompass ist eine mit einer Windrose verbundene und von einer Dose umschlossene Magnetnadel. (Seit dem 12. Jahrhundert in Europa, früher schon bei den Chinesen bekannt.)

Sonstige Anwendungen des Magnets sind: die Aussonderung von Eisentheilchen aus Pulvern (z. B. von Gesteinen); die Entfernung von Eisenstäubchen oder -Splittern aus dem Auge; die Verwendung beim Bau magnetoelektrischer Maschinen (siehe später).

14. Galvanismus.

Ruhende und strömende galvanische Elektrizität. Wenn man in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß zwei Platten verschiedener (heterogener) Metalle, z. B. eine Zink- und eine Kupferplatte eintaucht, so werden die oberen, aus der Flüssigkeit hervorragenden Enden der Metallplatten elektrisch, und zwar sammelt sich in der Zinkplatte negative, in der Kupferplatte positive Elektrizität an.

Die Entstehung dieser Elektrizität ist eine Folge der chemischen Vorgänge, die sich zwischen den Metallen und der verdünnten Säure abspielen.

Bringt man nun die aus der Flüssigkeit hervorragenden Enden

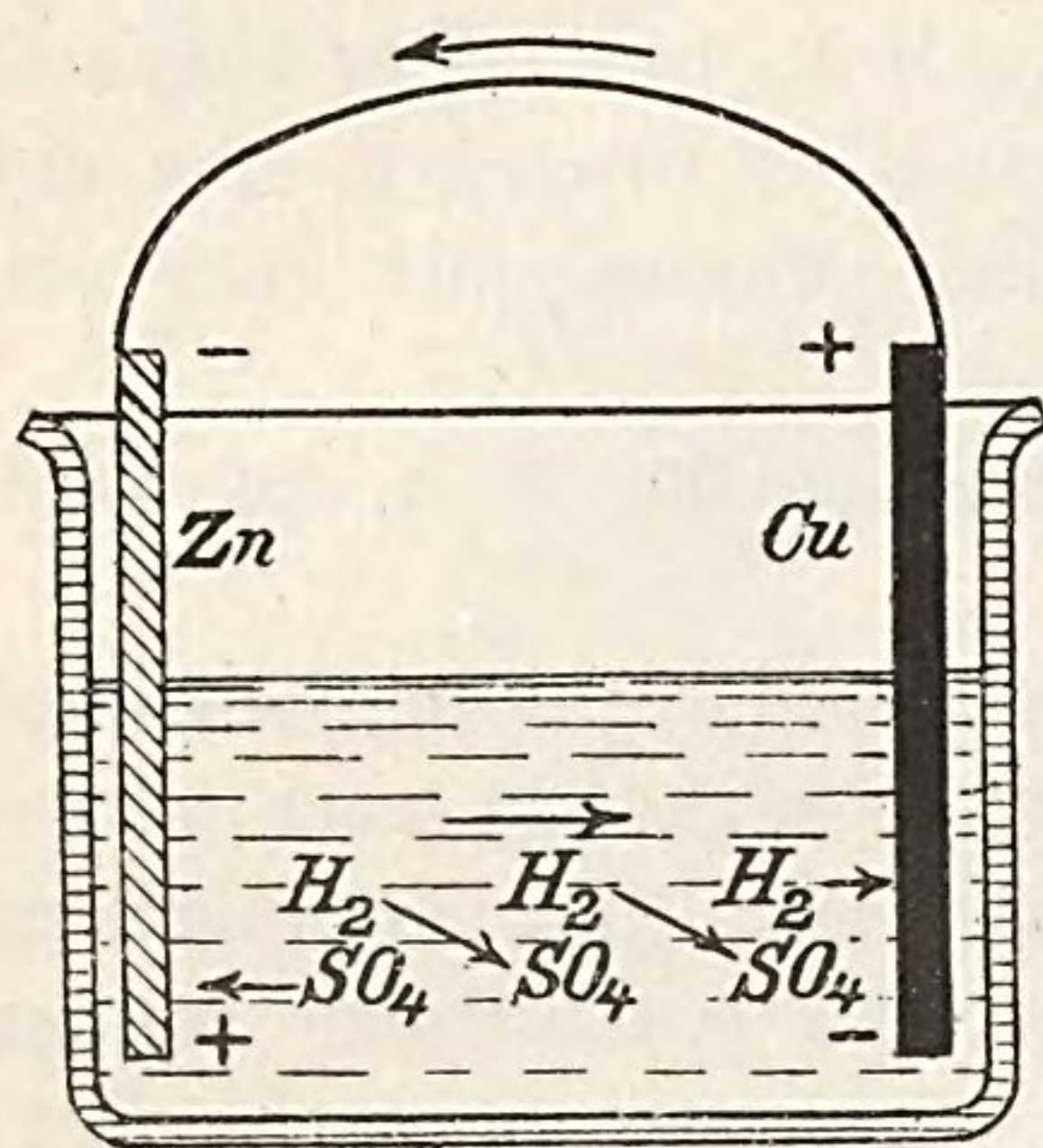


Fig. 93. Galvanischer Strom
(Galvanisches Element).

der Metallplatten in leitende Verbindung, z. B. durch einen Kupferdraht (Fig. 93), so findet eine Vereinigung der Elektrizitäten statt, indem die $+E$ des Kupfers (im Sinne des Pfeils) zum Zink und die $-E$ des Zinks (dem Pfeil entgegen) zum Kupfer hinüberströmt. Aber da die chemischen Vorgänge in der Flüssigkeit sich weiter abspielen, sammeln sich neue Mengen Elektrizität im Zink und im Kupfer an, welche sich abermals — durch den verbindenden

Kupferdraht hindurch — ausgleichen u. s. f. Auf diese Weise entsteht ein andauernder elektrischer Strom; von $+E$ vom Kupfer zum Zink und von $-E$ vom Zink zum Kupfer.

Ein ähnlicher Strom oder genauer gesprochen: zwei Ströme (ein positiv und ein negativ elektrischer) durchlaufen auch die Flüssigkeit im Gefäße; beides aber nur unter der Voraussetzung, dass die dualistische Hypothese der Elektrizität richtig ist oder, sagen wir: vorausgesetzt, dass wir uns auf der Grundlage dieser Hypothese bewegen. Die Richtung der Ströme in der Flüssigkeit ist die umgekehrte wie im Kupferdraht; die $+E$ geht vom Zink zum Kupfer (im Sinne des Pfeils), die $-E$ vom Kupfer zum Zink (entgegengesetzt der Richtung des Pfeils).

Diese Erscheinung lässt sich so erklären, dass die neutrale Elektrizität, welche anfänglich in den Metallen und der Flüssigkeit

vorhanden war, in Folge der chemischen Vorgänge sich in $+E$ und $-E$ trennte und dass an der Berührungsstelle zwischen Flüssigkeit und Zink sich die $+E$ in die Flüssigkeit, die $-E$ nach oben in die Zinkplatte begab, während die Vertheilung an der Berührungsstelle zwischen Flüssigkeit und Kupfer sich umgekehrt vollzog.

Im Ganzen entwickelt sich nun in dem System Zink / verdünnte Schwefelsäure / Kupfer (nebst Verbindungs- oder Leitungsdraht) ein zusammenhängender Strom positiver Elektricität (vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer und weiter durch den Leitungsdraht zum Zink) und ein zusammenhängender Strom negativer Elektricität (vom Kupfer durch die Flüssigkeit zum Zink und weiter durch den Leitungsdraht zum Kupfer).

Von beiden Strömen wird allgemein nur der positive näher betrachtet, da der negative ihm allemal entgegengesetzt gerichtet ist. Um die Richtung des ersteren zu behalten, merkt man sich zweckmässig die kurze Regel: Der positive Strom geht vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer.

Man nennt diesen (elektrischen) Strom einen galvanischen und die Elektricität, welche er fortführt, galvanische Elektricität oder Galvanismus.

Dieser Name rührt von dem Entdecker des Galvanismus her: dem Professor der Medicin Luigi Galvani in Bologna (1737—1798). Derselbe hatte enthäutete Froschschenkel mittels kupferner Haken an einem eisernen Gitter aufgehängt; kamen nun die Froschschenkel mit letzterem in Berührung, so stellten sich heftige Muskelzuckungen in ihnen ein. Hier lieferte das System Eisen / Froschschenkel / Kupfer einen elektrischen (galvanischen) Strom, dessen physiologische Wirkung in den Zuckungen der Froschschenkel bestand.

Alessandro Volta (1745—1827), der sich mit dieser Entdeckung beschäftigte, suchte die Erscheinung auf die Weise zu erklären, dass er annahm, es entstehe bei der blossen Berührung zweier verschiedener Metalle (Eisen und Kupfer) Elektricität, und die Froschschenkel seien nur ein Mittel zum Nachweis dieser Elektricität (durch ihre Zuckungen), ohne zu der Entstehung der Elektricität selbst erforderlich zu sein. Nach seiner Anschauung heisst die in Frage stehende Art der Elektricität daher Berührungs- oder Kontakt-Elektricität.

Volta'scher Fundamentalversuch. In der That gelingt es auch mit Hilfe des von Volta erfundenen Kondensators (der im Princip der Einrichtung einer Leydener Flasche gleichkommt, in der äusseren Form einem Elektroskop ähnlich sieht), das Auftreten von Elektricität bei der blossen Berührung zweier mit isolirenden Handhaben versehener Metallplatten (z. B. Kupfer und Zink) nachzuweisen (Volta's Fundamentalversuch). Doch ist es (auf Grund neuerer Versuche) wahrscheinlich, dass auf solchen Platten dünne Oxydschichten oder Ueberzüge von Feuchtigkeit sich gebildet haben, die dann bei der Berührung zur Abspielung chemischer Vorgänge den Anlass geben, auf Grund deren die galvanische Elektricität gebildet wird.

Volta'sche Spannungsreihe. Die bei der Berührung zweier verschiedener (heterogener) Metalle entstehende Elektrizität ist auf dem einen positiv, auf dem andern negativ; und es lassen sich die Metalle in eine Reihe ordnen, derart, dass jedes voranstehende, mit einem folgenden berührt, positiv, jedes folgende, mit einem vorhergehenden berührt, negativ elektrisch wird. Diese Reihe heisst Volta'sche Spannungsreihe; sie lautet:

(+) Zink, Blei, Zinn; Wismuth, Antimon; Eisen, Kupfer, Silber; Gold und Platin. (—) An das negative Ende dieser Reihe schliesst sich von Nichtmetallen die Kohle (Gas- oder Retortenkohle) an.

Bei der Berührung zweier Körper der Spannungsreihe entsteht eine bestimmte elektrische Spannungsdifferenz (Potentialdifferenz), die ausschliesslich von der Natur der Körper, nicht aber von der Grösse und Form ihrer Berührungsfläche abhängig ist. Je weiter die sich berührenden Körper in der Spannungsreihe von einander entfernt sind, desto grösser ist die gebildete Spannungsdifferenz. Folgen die in Berührung gebrachten Körper nicht unmittelbar in der Spannungsreihe auf einander, so ist ihre Spannungsdifferenz gleich der Summe der Spannungsdifferenzen der zwischenliegenden Körper. Werden daher zwei Metalle durch ein Zwischenglied der Reihe in leitende Verbindung gesetzt, so ist die sich in beiden entwickelnde Spannungsdifferenz dieselbe, als ob sie sich unmittelbar berührten.

Leiter erster und zweiter Klasse. Diesem Gesetz der Spannungsreihe folgen nicht die Säuren, die Salzlösungen, die geschmolzenen Salze, überhaupt alle chemisch zusammengesetzten Flüssigkeiten. Sie nannte Volta Leiter zweiter Klasse im Gegensatz zu den Körpern der Spannungsreihe als Leitern erster Klasse. In einem geschlossenen Kreise, welcher mehrere Leiter erster Klasse und auch nur einen Leiter zweiter Klasse enthält, ist die Spannungsdifferenz von Null verschieden, wogegen ein geschlossener Kreis, der nur aus Leitern erster Klasse besteht, dem Gesetz der Spannungsreihe zufolge, die Spannungsdifferenz Null besitzt, d. h. keinen elektrischen Strom aufweist.

Die Leiter zweiter Klasse besitzen die Eigenthümlichkeit, den elektrischen Strom nur zu leiten, indem sie eine chemische Zersetzung erleiden, wie es in Fig. 93 angedeutet ist.

Elektromotorische Kraft. Die Thatsache, dass bei der Berührung zweier verschiedener leitender Stoffe nicht allein getrennte positive und negative Elektrizität auftritt, sondern auch eine Wiedervereinigung beider Elektrizitäten unterbleibt, findet ihre Erklärung in der Annahme einer besonderen Kraft, die an der Berührungsstelle wirksam wird und die Ursache der auftretenden elektrischen Spannungsdifferenz ist. Sie heisst elektromotorische Kraft. Man wird sie auf die stattfindenden chemischen Vorgänge zurückzuführen oder doch mit ihnen in innigem Zusammenhange stehend anzusehen haben.

Galvanisches Element und galvanische Batterie. Das auf S. 156 bis 157 beschriebene, einen galvanischen Strom liefernde System Zink / verdünnte Schwefelsäure / Kupfer (nebst Verbindungs- oder Leitungs-

draht) heisst eine einfache galvanische Kette oder ein galvanisches Element. Lässt man den Verbindungs- oder Leitungsdraht fort, so ist der Strom unterbrochen, und es sammeln sich — wie schon auf S. 156 erwähnt — die entstehenden Elektricitäten in den oberen Enden der Metallplatten an. Eine solche Kette heisst eine offene. Durch den Verbindungs- oder Leitungsdraht wird sie — und damit der galvanische Strom — geschlossen; daher heisst der Draht auch Schliessungsdraht. Die Enden der Metalle in einer offenen Kette heissen die Pole.

Wenngleich die galvanische Elektricität sich dadurch von der mittels Reibung erzeugten Elektricität vortheilhaft unterscheidet, dass sie einen andauernden Strom liefert, so steht sie doch insofern hinter letzterer zurück, als ihre Spannung geringer ist.

Einen stärkeren elektrischen Strom erzielt man durch Vereinigung mehrerer einfacher Ketten zu einer zusammengesetzten Kette oder einer galvanischen Batterie (Fig. 94).

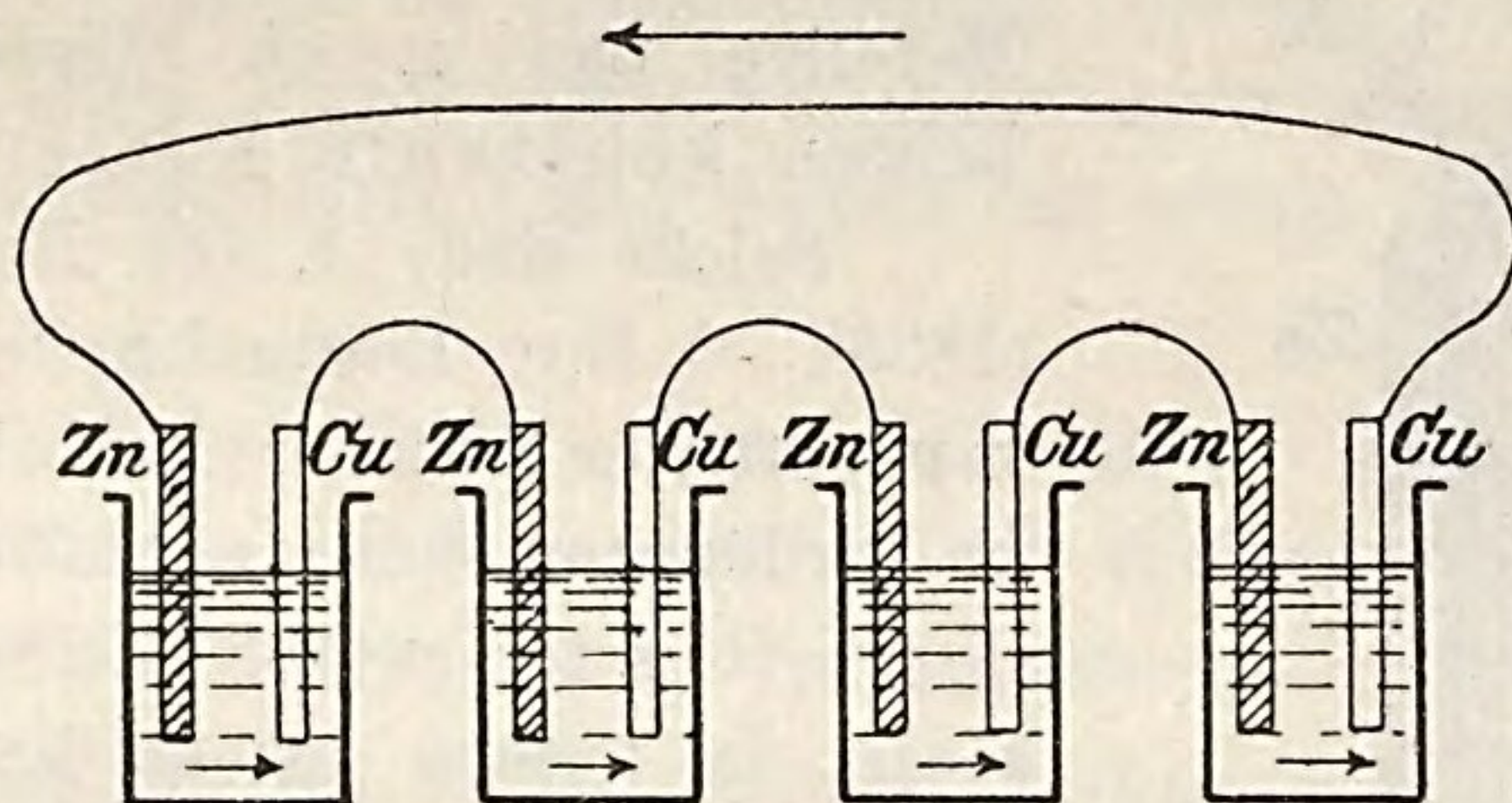


Fig. 94. Galvanische Batterie. (Von 4 Elementen.)

Die äusserste Zink- und die äusserste Kupferplatte einer Batterie bilden deren Pole, sie sind in der Figur durch einen Schliessungsdraht mit einander verbunden.

Ein anderes als das erwähnte Zink-Kupfer-Element ist das sogenannte Flaschenelement oder Chromsäureelement, das aus Zink und Kohle besteht, welche in eine mit Schwefelsäure gemischte Lösung von doppelt-chromsaurem Kali getaucht werden können.

Aus denselben Körpern sind die vielfach angewendeten Tauchbatterien zusammengesetzt.

Die Volta'sche Säule (1800) ist eine Batterie, welche aus über einander gelegten Zink- und Kupferplatten und damit abwechselnden, mit Kochsalzlösung getränkten Tuch- oder Pappscheiben aufgebaut ist; Reihenfolge z. B.: Kupfer, feuchter Leiter; Zink, Kupfer, feuchter Leiter; Zink, Kupfer, feuchter Leiter u. s. w., zuletzt: Zink, Kupfer, feuchter Leiter; Zink. Bei dieser Anordnung stellt ein von unten (vom Kupfer) kommender Draht den positiven Pol dar, ein von oben (vom Zink) kommender Draht den negativen Pol.

Konstante Ketten. Die Wirkung der angeführten galvanischen Ketten

(und Batterien) nimmt nach einiger Zeit an Stärke ab und der elektrische Strom hört zuletzt ganz auf. Der Grund für diese Erscheinung liegt in der chemischen Zersetzung, welche der Strom in der Flüssigkeit hervorruft; das in derselben enthaltene Wasser wird in seine Grundstoffe Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Der Wasserstoff wandert mit dem positiven Strom (siehe S. 156, Fig. 93, sowie S. 162) und legt sich der Kupferplatte an, während der Sauerstoff sich in entgegengesetzter Richtung zur Zinkplatte begiebt und Oxydation und in Folge davon Auflösung des Zinks und Bildung von Zinkvitriol an Stelle der Schwefelsäure bewirkt. Die Umhüllung des Kupfers mit Wasserstoff verhindert die unmittelbare Einwirkung der Flüssigkeit auf das Kupfer und bewirkt sogar die Entstehung eines Gegenstromes (Berührung von Kupfer und Wasserstoffgas) — eine Erscheinung, die als elektrische Polarisation bezeichnet wird.

Um dem gedachten Uebelstande abzuhelpen, wendet man statt einer: zwei Flüssigkeiten an, von denen die eine den entwickelten Wasserstoff verbraucht (Kupfervitriollösung, Salpetersäure u. a.). Beide Flüssigkeiten werden durch einen porösen, den Durchtritt des elektrischen Stromes nicht hindernden Thon-

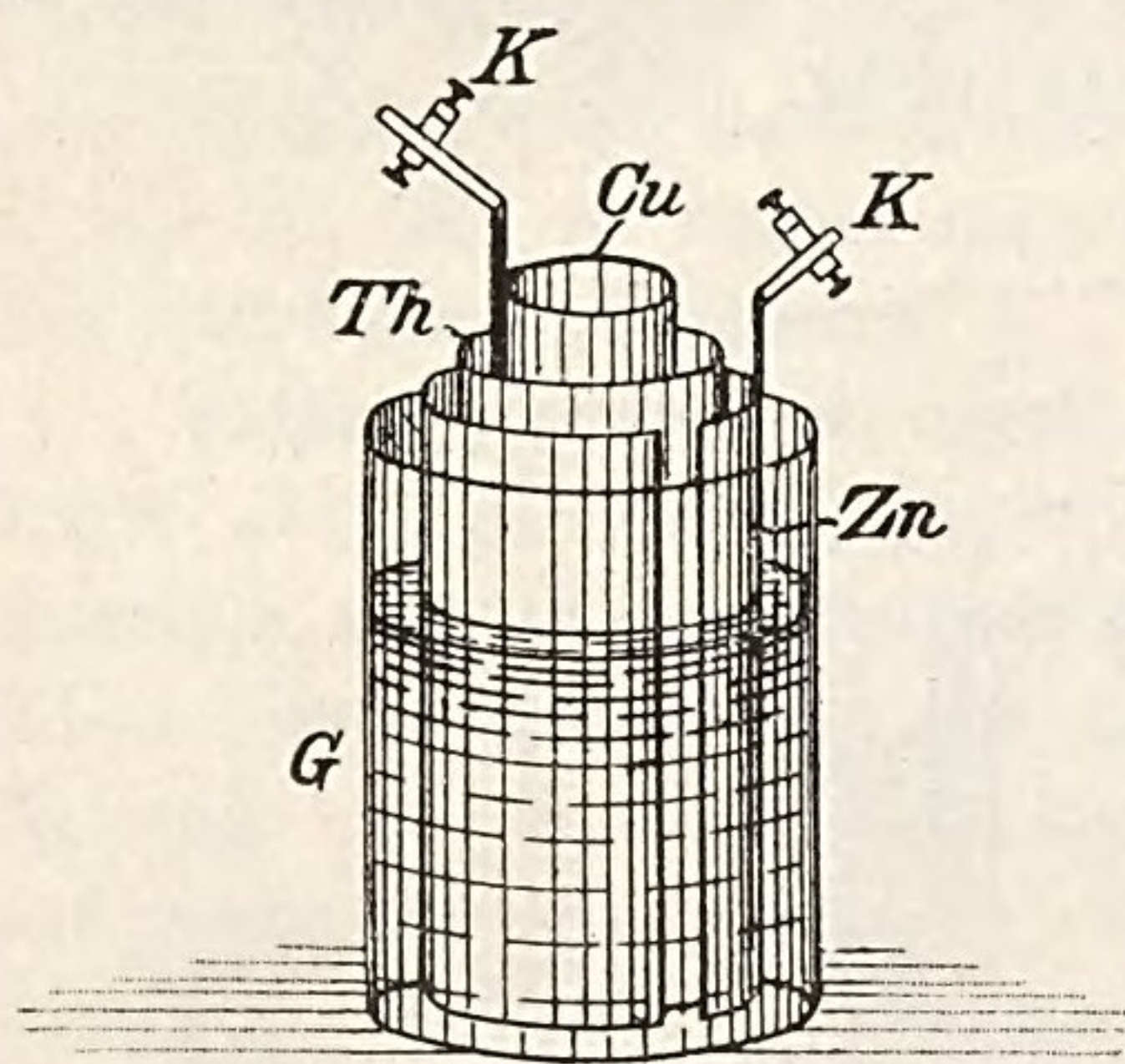


Fig. 95. Daniell'sche Kette.

cylinder (eine Thonzelle) von einander getrennt. Derartige Ketten, welche aus zwei Metallen und zwei Flüssigkeiten bestehen, heißen konstante Ketten.

Solche sind: 1. Die Daniell'sche Kette (1836). — Ihre Bestandtheile sind Kupfer in konzentrierter Kupfervitriol-Lösung und Zink in verdünnter Schwefelsäure. Das Glasgefäß *G* (Fig. 95) enthält die verdünnte Schwefelsäure, in welche der an beiden Enden offene Zinkcylinder *Zn* eingestellt ist; er umgiebt die unten geschlossene Thonzelle *Th*, welche zur Aufnahme der Kupfervitriol-Lösung und des Kupferblechcylinders *Cu* bestimmt ist. In Folge

von Zersetzung des Kupfervitriols lagert sich auf dem Kupferblechcylinder metallisches Kupfer (statt des Wasserstoffs) ab. — Die Klemmschrauben *K* dienen zur Aufnahme des Schliessungsdrahtes, bezw. eines Drahtes, der das Element mit einem zweiten, benachbarten zu einer Batterie verbindet. — Eine Zink-Kupfer-Kette ohne Thonzelle ist die Meidinger'sche (1859).

2. Die Bunsen'sche Kette (1842). — Ihre Bestandtheile sind Kohle in konzentrierter Salpetersäure und Zink in verdünnter Schwefelsäure.

3. Das Leclanché- oder Braunstein-Element. — Dessen Bestandtheile: Kohle, welche zwischen zwei Platten eingeklemmt ist, die aus einer Mischung von Braunstein, Kohle, Gummiharz und doppelt schwefelsaurem Kali bestehen, und Zink; nur eine Flüssigkeit: Salmiaklösung, die andere wird durch den sauerstoffreichen Braunstein ersetzt.

Accumulatoren. Von besonderer Bedeutung in der modernen Elektrotechnik sind die Polarisations- oder Sekundär-Elemente (Planté, 1859), auch Accumulatoren genannt. Zwei Bleiplatten werden unter Zwischenlagerung eines isolirenden Stoffes (Kautschukbänder) spiralförmig zusammen-

gerollt und in verdünnte Schwefelsäure getaucht. Der Anfang der inneren und das Ende der äusseren Bleiplatte sind mit Ansätzen versehen, die aus dem die Schwefelsäure enthaltenden Gefässe hervorragen und als Pole dienen. Zunächst wird nun mittelst dieser Pole ein galvanischer Strom durch das Element hindurchgeleitet. Derselbe zersetzt das Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff. Letzterer begiebt sich an den einen Pol und oxydirt die betreffende Bleiplatte zu Bleisuperoxyd (PbO_2), während der Wasserstoff an den andern Pol wandert und die dazugehörige Bleiplatte entweder unverändert lässt oder — wenn sie die Schwefelsäure chemisch verändert haben sollte — zu metallischem Blei reducirt. Auf diese Weise ist das Element geladen und giebt nun — nach Ausschaltung der zum Laden benutzten Batterie — selbst einen Strom, und zwar von entgegengesetzter Richtung wie der Ladungsstrom: Sekundärstrom.

Die Ladung des Elements bleibt längere Zeit unverändert. Erst nach ausserordentlich langem (unbenutztem) Stehenlassen nimmt die Ladung in erheblicherem Maasse ab, und erst nach tagelangem Gebrauch entladet sich das Element vollständig (durch allmählich fortschreitende Reduktion der oxydirten Bleiplatte).

Zu erneutem Gebrauch ist eine abermalige Ladung vonnöthen.

Die Ladung eines Planté'schen Elementes geht leichter und ausgiebiger vor sich, wenn die Bleiplatten (nach Faure) mit einem Ueberzug von Mennige versehen werden.

Wirkungen des elektrischen Stromes. Die Wirkungen des elektrischen Stromes sondern sich in: Wärme- und Lichterscheinungen, chemische Wirkungen, magnetische Wirkungen, physiologische Wirkungen und Induktionswirkungen.

Wenn zwischen die Pole eines galvanischen Elements bzw. einer Batterie ein Metalldraht gespannt wird, so dass der elektrische Strom ihn durchfliesst, so findet eine Erwärmung des Drahtes statt, die sich bis zum Glühen und Schmelzen steigern kann, wenn der Draht dünn genug ist. Ferner erscheint in dem Augenblicke, in welchem eine metallische Leitung des elektrischen Stromes an einer Stelle unterbrochen wird, so dass eine Oeffnung des Schliessungskreises der Kette eintritt, ein Funke: der Oeffnungsfunke.

Von diesen Erscheinungen wird im elektrischen Licht Anwendung gemacht. Es sind zwei Arten desselben zu unterscheiden: das Glühlicht, das darin besteht, dass in einem luftleer gemachten Glasgefäss (Glasbirne) ein Kohlenfaden zum Glühen gebracht wird; und das Bogenlicht (der Davy'sche Lichtbogen), bei dem zwei Kohlenstäbe in die metallische Leitung eingeschaltet werden, zwischen denen ein Lichtbogen übergeht.

Gase, welche in Röhren eingeschlossen sind, glühen, wenn der elektrische Strom hindurchtritt, in verschiedenartigem farbigem Licht (Geissler'sche Röhren).

Elektrolyse. Die chemischen Wirkungen des Stromes sind bereits auf S. 158 und 160 erwähnt worden. Die dort beschriebene Zersetzung des Wassers in einem Leiter zweiter Klasse, sowie jede elektrische Zersetzung eines solchen Leiters selbst wird Elektrolyse genannt; der zersetzte Körper heisst Elektrolyt, die Bestandtheile, in die er zerfällt, die Jonen (oder Jonten). Diese wandern — das eine mit dem positiven, das andere mit dem negativen Strom und kommen an den Stellen zur Ausscheidung, wo der (positive) Strom in den Elektrolyten ein- bzw. aus ihm austritt, wie dies Fig. 93 an der Schwefelsäure veranschaulicht (die Jonen sind H_2 und SO_4).

Das mit dem positiven Strom wandernde Jon nennt man den elektropositiven Bestandtheil oder das Kation, das ihm entgegen (also mit dem negativen Strom) wandernde Jon den elektronegativen Bestandtheil oder das Anion.

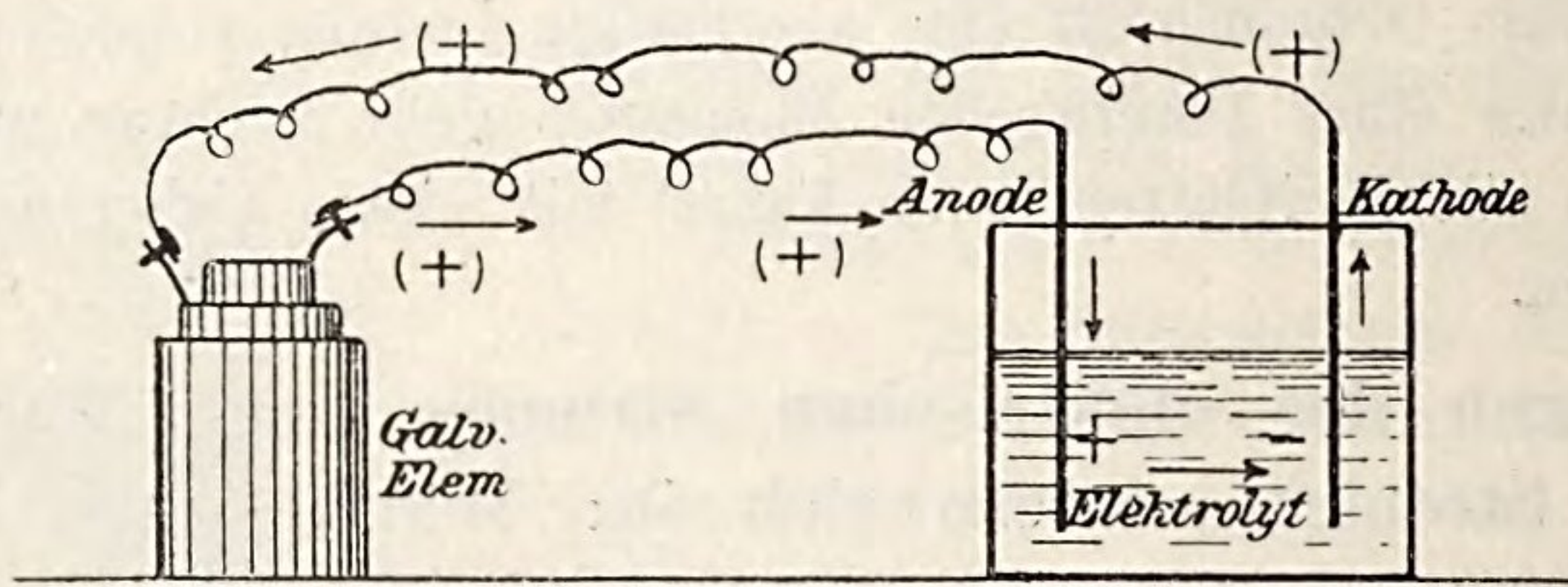


Fig. 96. Elektrolyse.

Die Pole eines galvanischen Elements oder einer Batterie, welche in ein Gefäß eintauchen, in dem ein Elektrolyt enthalten ist (vergl. Fig. 96), heissen Elektroden und werden als Anode (positiver Pol) und Kathode (negativer Pol) unterschieden. Da der positive Strom am positiven Pol oder an der Anode austritt und innerhalb des Elektrolyts von der Anode zur Kathode wandert, so scheidet sich nach dem zuvor Gesagten das Kation an der Kathode ab und dem entsprechend das Anion an der Anode (der elektropositive Bestandtheil am negativen Pol, der elektronegative Bestandtheil am positiven Pol).

Im Wasser ist der Wasserstoff elektropositiv (das Kation), der Sauerstoff elektronegativer (das Anion). Jener wandert also bei der Zersetzung des Wassers mit dem positiven Strom und scheidet sich an der Kathode (dem negativen Pol) ab, dieser wird an der Anode (dem positiven Pol) frei.

Das Volumverhältniss der frei werdenden Gase (Wasserstoff und Sauerstoff) ist dabei 2:1. Erste Zerlegung des Wassers durch die Volta'sche Säule durch Nicholson und Carlisle (1800).

Da die Menge der in einer bestimmten Zeit abgeschiedenen Gase der Stärke oder Intensität des galvanischen Stroms — der Stromstärke — proportional ist, so kann sie zur Messung der letzteren benutzt werden. (Voltameter; Jacobi, 1839).

Die Hypothese von der Wanderung der Jonen (Grothuss, 1805) besagt, dass in jedem Wassermolekül der positiv elektrische Wasserstoff und der negativ elektrische Sauerstoff sich trennen, sobald der elektrische Strom hindurchgeht (nach Arrhenius' neuerer Ansicht herrscht von vornherein in jedem Elektrolyt Dissociation), und dass der Wasserstoff eines Wassermoleküls an der Anode von dieser abgestossen wird (beide positiv elektrisch!) und sich mit dem (negativ elektrischen) Sauerstoff des nächsten Wassermoleküls verbindet u. s. f., bis der Wasserstoff des letzten Wassermoleküls — an der Kathode — übrig bleibt und frei wird. Umgekehrt verhält es sich mit dem Sauerstoff. (Vergl. auch Fig. 93.)

Nach Faraday (1834) verhalten sich die Gewichtsmengen der durch den gleichen Strom aus verschiedenen Elektrolyten ausgeschiedenen Bestandtheile wie ihre chemischen Aequivalentgewichte. (Aequivalentgewicht = Atomgewicht, dividirt durch die Werthigkeit oder Valenz, also 1 g Wasserstoff = 1 *H*, 35,5 g Chlor = 1 *Cl*, 8 g Sauerstoff = $\frac{O}{2}$, $\frac{14}{3}$ g Stickstoff = $\frac{N}{3}$ u. s. w.)

Wie aus Wasser und Schwefelsäure der Wasserstoff an der negativen Elektrode (der Kathode) frei wird, so werden aus Lösungen von Metallsalzen, z. B. Kupfervitriol, Cyansilber + Cyankalium, Cyangold oder Goldchlorid, die Metalle (als elektropositive Körper gleich dem Wasserstoff) an der negativen Elektrode abgeschieden. Werden Gegenstände mit dieser verbunden oder bilden sie selbst die Kathode, so schlägt sich auf ihnen das Metall (Kupfer, Silber, Gold) nieder; es lassen sich so Kupferabdrücke von ihnen herstellen (Galvanoplastik; Jacobi, 1838, St. Petersburg), oder sie werden galvanisch versilbert oder vergoldet, desgl. vernickelt u. s. w. (Galvanisation oder Galvanostegie.)

Magnetische Wirkungen des elektrischen Stroms. Die eine Art der magnetischen Wirkung eines elektrischen oder galvanischen Stromes ist die Ablenkung der Magnetnadel aus ihrer durch den Einfluss der Erde bestimmten Lage. (Entdeckt durch Örsted, 1777—1851, zu Kopenhagen im Jahre 1820.) Die Art der Ablenkung wird am besten durch die Ampère'sche Regel bestimmt, und zwar für alle Fälle, mag die Nadel über, unter oder neben dem den galvanischen Strom leitenden Drahte sich befinden. Die Regel lautet: Denkt man sich selbst in den galvanischen Strom versetzt und zwar mit dem positiven Strome schwimmend, so, dass das Gesicht dem Nordende der Magnetnadel zugewendet ist, so wird dieses stets nach links abgelenkt.

Die Nadel kehrt in ihre ursprüngliche, normale Lage erst zurück, wenn der Strom unterbrochen wird.

Wird der Strom umgewendet, d. h. nimmt er — durch Vertauschung der Pole der Batterie oder mittels Anwendung eines sogenannten Kommutators oder Stromwenders — die entgegengesetzte Richtung im Drahte an, so schlägt das Nordende der Nadel nach der entgegengesetzten Seite aus wie zuvor.

Da die Grösse der Ablenkung nach einem bestimmten Gesetz von der Stromstärke abhängt, so kann sie zur Messung der letzteren benutzt werden. (Tangentenbussole; Pouillet, 1837.)

Der Einfluss schwacher elektrischer Ströme auf die Magnetnadel wird verstärkt, indem man den den Strom leitenden Draht in mehrfachen (möglichst zahlreichen) Windungen um die Nadel herumführt. Dies geschieht im Multiplikator (Schweigger, 1820 und Poggendorff, 1821). Die verschiedenen Drahtwindungen sind der Isolirung halber mit Seide umsponnen. Der Multiplikator wird als Strommesser auch Galvanometer genannt.

Jeder galvanische Strom erleidet eine gewisse Schwächung, wenn er eine Leitung — die die Pole verbindenden Drähte — durchläuft: Leitungswiderstand. Bei gleichem Querschnitt der leitenden Drähte ist dieser Widerstand der Länge proportional, bei gleicher Länge der Grösse des Querschnitts umgekehrt proportional. Von der Gestalt des Querschnitts ist er unabhängig, dagegen noch abhängig von der Natur (Substanz) der leitenden Drähte. Als Einheit des Leitungswiderstandes hat man den Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt festgesetzt: Siemens'sche Einheit (= 1 Siemens) (1849).

Eine besondere Schwächung erfährt der Strom beim Durchgang durch Flüssigkeiten, so innerhalb der Elemente, die den Strom erzeugen selbst: innerer Widerstand.

Nach dem Ohm'schen Gesetz (1826) ist die Stromstärke der Summe aller in der Kette wirksamen elektromotorischen Kräfte direkt, der Summe aller Leitungswiderstände umgekehrt proportional.

Die zweite Art der magnetischen Wirkung eines galvanischen Stroms wird im nächsten Kapitel besprochen werden.

Physiologische Wirkungen des Galvanismus. Die physiologischen Wirkungen des Galvanismus bestehen in Muskelzuckungen (beim Anfassen und Loslassen der beiden Pol-Enden mit angefeuchteten Fingern), sowie in Lichterscheinungen vor den Augen (wenn eine Stelle der Stirn mit der einen Pol-Platte, die Lippen mit der andern berührt werden) und in Geschmacksempfindungen (wenn der Strom die Zungennerven durchströmt).

Elektrische Induktion. Der galvanische Strom vermag ähnlich wie die Reibungselektricität Fernwirkungen auszuüben, welche man als Induktion bezeichnet.

Wenn ein auf eine Holzspule gewickelter, isolirter Kupferdraht — eine Drahtspirale —, welche ein galvanischer Strom durchfliesst, einer anderen Drahtspirale, welche mit einem Galvanometer verbunden ist (die aber kein Strom durchfliesst), genähert wird,

so entsteht in der zweiten Spirale ein elektrischer Strom, wie man an dem Ausschlag der Galvanometernadel erkennt. Dieser Strom heisst Induktionsstrom; seine Richtung ist der des erzeugenden Stroms oder Hauptstroms entgegengesetzt. Er ist nur von kurzer Dauer; aber beim Entfernen der ersten Spirale entsteht in der zweiten Spirale abermals ein Induktionsstrom, der dem ersten Induktionsstrom entgegen-, dem Hauptstrom also gleichgerichtet ist. (Fig. 97.)

Die erste Spirale, welche der erzeugende Strom durchfliesst, heisst Hauptspirale oder primäre Spirale, die zweite, in welcher der inducirte Strom auftritt, heisst Nebenspirale oder sekundäre Spirale.

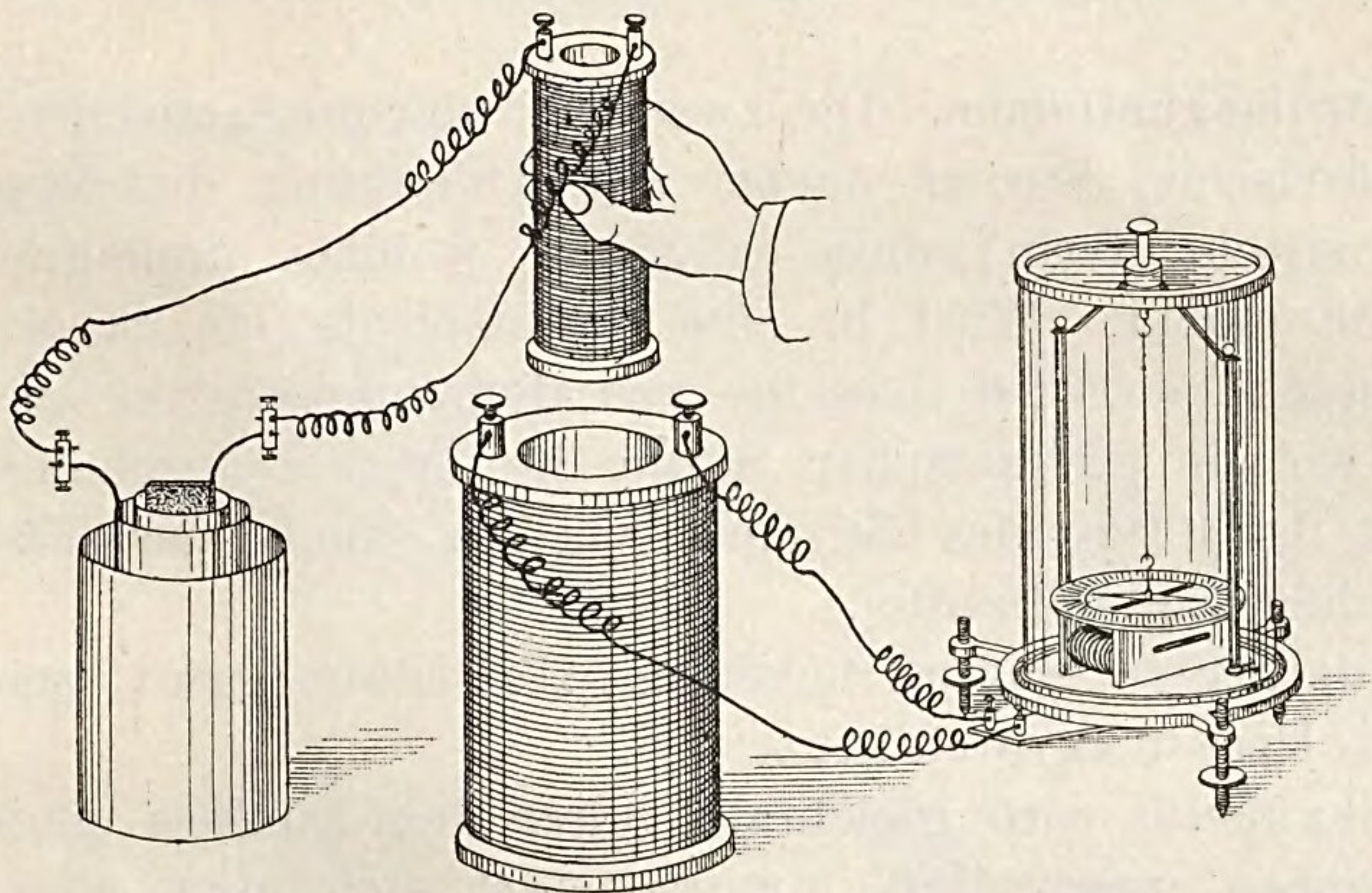


Fig. 97. Elektrische Induktion.

Die gleichen Induktionsströme, wie beschrieben, werden auch erzeugt, wenn man die Hauptspirale, bevor sie von einem galvanischen Strom durchflossen wird, in die (grössere) Nebenspirale hineinsteckt und dann in jener einen Strom entstehen und verschwinden lässt, was durch Schliessen und Oeffnen der mit der Hauptspirale verbundenen galvanischen Kette geschieht. Der durch Schliessen der Kette erzeugte Induktionsstrom heisst Schliessungsstrom (er ist dem inducirenden Strom entgegengesetzt), der durch Oeffnen der Kette erzeugte Induktionsstrom heisst Oeffnungsstrom (er ist dem inducirenden Strom gleichgerichtet).

Entdeckung der Induktionsströme durch Faraday, 1831.

Um mittels der Induktionsströme starke physiologische Wirkungen zu erzielen, ist in den Induktionsapparaten ein selbstthätiger Stromunterbrecher (Neef'scher Hammer) angebracht, welcher ein fortgesetztes schnelles, abwechselndes Oeffnen und Schliessen des Hauptstroms bewirkt. Dadurch erhält man in

der Nebenspirale eine Reihe schnell auf einander folgender Induktionsströme, die von grosser Stärke sein können.

Anziehung und Abstossung von Stromleitern. Sind zwei bewegliche Stromleiter (Drähte) parallel neben einander aufgehängt, so ziehen sie sich nach der Entdeckung Ampère's (1820) gegenseitig an, wenn sie von gleichgerichteten Strömen durchflossen werden, und stossen einander ab, wenn sie von entgegengesetzt gerichteten Strömen durchflossen werden.

15. Elektromagnetismus und Magnetoelektricität; Elektrodynamik und Dynamoelektricität.

Elektromagnetismus. Die zweite Art der magnetischen Wirkung eines elektrischen Stroms nächst der Ablenkung der Magnetnadel (S. 163) besteht darin, dass er Eisen, welches unmagnetisch ist, magnetisch macht. Wird in eine Drahtspirale ein Stück weiches Eisen gesteckt, so wird dasselbe von dem Augenblicke an zu einem Magnet, wo ein galvanischer Strom die Spirale durchfliesst. Erst mit dem Aufhören des Stromes verliert auch das Eisen seine magnetischen Eigenschaften.

Ein derartiger Magnet heisst ein Elektromagnet, sein Magnetismus Elektromagnetismus.

Ein Stahlstab wird gleichfalls unter dem Einfluss eines elektrischen Stromes magnetisch, unterscheidet sich aber vom weichen Eisen dadurch, dass er seinen Magnetismus beibehält, wenn der Strom unterbrochen ist.

Auch wenn man ein Stück weiches Eisen einer von einem elektrischen Strome durchflossenen Drahtspirale nähert, wird es magnetisch; beim Entfernen wird es wieder unmagnetisch.

Aus der Thatsache des Elektromagnetismus, zusammengehalten mit der Erfahrung, die über Anziehung und Abstossung beweglicher Stromleiter gemacht worden war, leitete Ampère seine elektrische Theorie des Magnetismus ab (1826). Danach ist ein Magnet als ein von einem elektrischen Strome in spiralförmigen Windungen umflossener Eisenstab aufzufassen. Die Richtung dieses Stromes ist derart, dass, wenn man sich in demselben und mit ihm schwimmend denkt, so, dass man den Magnet anblickt, der Nordpol desselben sich zu linker Hand befindet.

Werden nun zwei Magnete einander mit ungleichnamigen Polen genähert, so sind die elektrischen Ströme der Magnete gleich gerichtet, und die Pole ziehen sich an; werden die Magnete einander

mit gleichnamigen Polen (z. B. mit den beiden Nordpolen) genähert, so sind die elektrischen Ströme der Magnete entgegengesetzt gerichtet, und die Pole stossen sich ab.

Eine entsprechende Erklärung findet nach Ampère's Theorie der Erdmagnetismus.

Telegraphie; Morse'scher Schreibtelegraph. Eine ausserordentlich wichtige Anwendung wird vom Elektromagnetismus in der Telegraphie gemacht, und zwar auf die Weise, dass die Fortpflanzung der Elektrizität in Metalldrähten zur Mittheilung von Signalen oder Schriftzeichen auf grössere Entfernungen benutzt wird.

Der in Preussen im öffentlichen Gebrauch befindliche Morse'sche Schreibtelegraph (1844; der erste Telegraph von Gauss und Weber, 1833) besteht aus

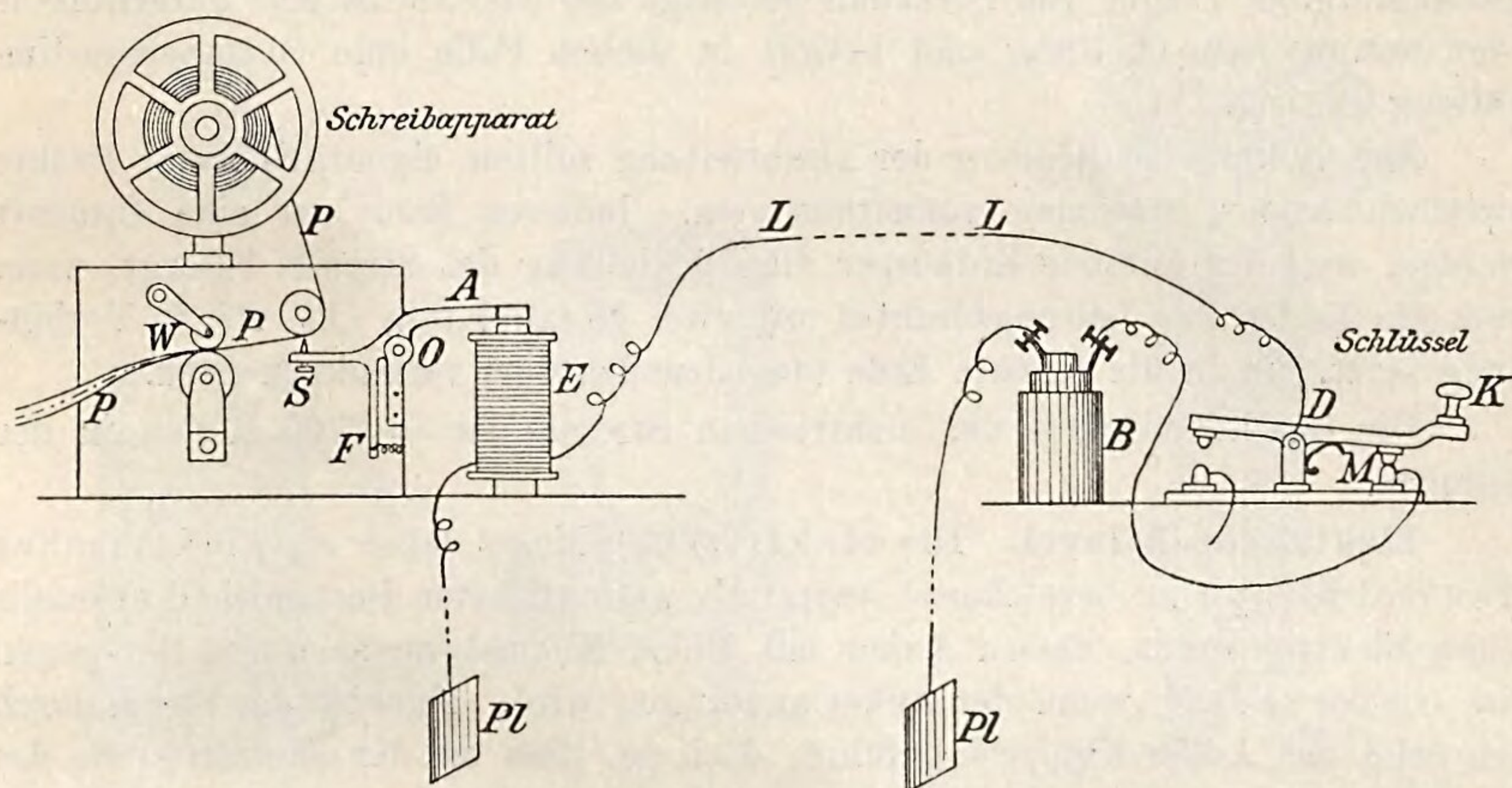


Fig. 98. Morse'scher Schreibtelegraph.

dem Schreibapparat und dem Schlüssel; jener befindet sich an der Empfangs-Station, dieser an der Aufgabe-Station (zeichengebenden Station). Der Schreibapparat (Fig. 98) besteht aus einem hufeisenförmigen Elektromagnet (E), vor dessen Polen sich ein Anker (A) befindet, der den einen Arm eines zweiarmigen, um die Achse O drehbaren Hebels darstellt, dessen anderer Arm den Schreibstift S trägt; vor diesem bewegt sich der Papierstreifen PPP vorbei, den ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit zwischen den Walzen W hindurchzieht. Auf diesem Papierstreifen bringt der Schreibstift einen Eindruck, bzw. einen farbigen Strich hervor, wenn und solange der Anker A von den Polen des Elektromagnets angezogen wird. Eine Spiralfeder (F) bringt den Anker in seine Ruhelage zurück, wenn keine Anziehung seitens des Elektromagnets stattfindet. Diese Anziehung nun tritt ein, sobald der elektrische Stromkreis vom Elektromagnet bis zu dem Schlüssel der Aufgabe-Station geschlossen ist. Die Schliessung erfolgt, wenn der Schlüssel mittelst des Knopfes K niedergedrückt wird. Die Leitung LL geht nämlich — vom Elektromagnet herkommend — nach D , dem Drehpunkt des hebel förmigen, metallenen Schlüssels und von diesem durch den

unter ihm befindlichen Metallknopf *M* nach der Batterie *B* (die Figur giebt der Einfachheit wegen nur ein Element wieder). Lässt man den Schlüssel los oder locker, so wird er durch eine elastische Feder nach oben gedrückt, und der Stromkreis ist geöffnet.

Der am Schlüssel arbeitende Telegraphist kann hiernach durch längeres oder kürzeres Niederdrücken des Knopfes *K* und Einhalten gewisser Pausenlängen auf dem Papierstreifen *PPP* in der Empfangs-Station längere und kürzere Striche (Striche und Punkte) hervorbringen; durch verschiedene Zusammenstellung solcher Striche und Punkte hat man ein Alphabet gebildet, dessen man sich statt des Buchstaben-Alphabets zur Mittheilung von Gedanken (Wörtern und Sätzen) bedient.

Die Drahtleitung *LL* muss gut isolirt sein. Sie befindet sich entweder in der Luft und wird dann von Telegraphenstangen getragen, an denen sie durch glockenförmige Träger von Porzellan befestigt ist, oder sie ist eine unterirdische oder unterseeische Leitung und besitzt in diesem Falle eine Guttapercha-Umhüllung (Kabel).

Zur völligen Schliessung der Drahtleitung sollten eigentlich zwei Drähte zwischen beiden Stationen vonnöthen sein. Indessen kann der eine entbehrt werden, weil der leitende Erdkörper die Rückleitung des Stromes besorgt, wenn man die Enden des Leitungsdrahtes mit zwei Metallplatten (*Pl*, *Pl*) in Verbindung setzt, die in die feuchte Erde (das Grundwasser) versenkt werden.

Die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes ist = 3700 Meilen in der Sekunde.

Elektrische Klingel. Die elektrische Klingel (auch als elektrischer Haustelegraph zu bezeichnen) besitzt als wesentlichsten Bestandtheil ebenfalls einen Elektromagnet, dessen Anker mit einem Klöppel versehen ist, der gegen eine Glocke schlägt, wenn der Anker angezogen wird. Nun ist der Strom durch den Stiel des Anker-Klöppels geführt, doch so, dass an der Eintrittsstelle des Stroms in diesen Stiel eine Unterbrechung des Stroms eintritt, sobald der Anker angezogen wird. Geschieht das letztere, so verliert der Eisenkern des Elektromagnets seinen Magnetismus, der Anker wird nicht mehr angezogen und schnell — in Folge des Drucks einer elastischen Feder — zurück. Dadurch tritt aber wieder eine Schliessung des Stromkreises ein, und der Elektromagnet zieht den Anker von Neuem an, der Klöppel schlägt abermals an die Glocke u. s. f. — Die erste Schliessung des Stromes erfolgt durch Drücken auf einen Knopf, der einen — nicht selbstthätigen — Stromunterbrecher darstellt; solange gegen diesen Knopf gedrückt wird, dauern die Glockenschläge an.

Magnetoelektricität oder magnetische Induktion. Wie der elektrische Strom Magnetismus hervorrufen kann, so ist umgekehrt die magnetische Kraft im Stande, einen elektrischen Strom zu erzeugen. Ein solcher magnetoelektrischer Strom entsteht, wenn einer Drahtspirale ein Magnet genähert wird, und ein zweiter, dem ersten entgegengesetzt gerichteter Strom, wenn der Magnet wieder entfernt wird. Dasselbe findet statt, wenn in die Drahtspirale ein Stab aus weichem Eisen gesteckt und dieser nun (durch Annäherung

eines Magnets oder durch einen galvanischen Strom) magnetisirt und wieder entmagnetisirt wird. (Fig. 99.)

Die geschilderte Erscheinung wird auch als magnetische Induktion bezeichnet.

Die Richtung der entstehenden Ströme lässt sich bei Zugrundelegung der Ampère'schen Theorie des Magnetismus (S. 166) mittelst der Thatsachen der rein elektrischen Induktion (S. 164) feststellen.

Der magnetoelektrische Rotationsapparat (Stöhrer, 1844) liefert Ströme von ähnlicher Art wie ein Induktionsapparat.

Lenz'sche Regel. Eine noch allgemeinere elektrische Wirkung kommt dem Magnetismus nach der von Lenz (1834) aufgestellten Regel zu: Durch gegenseitige Bewegung von Stromleitern und

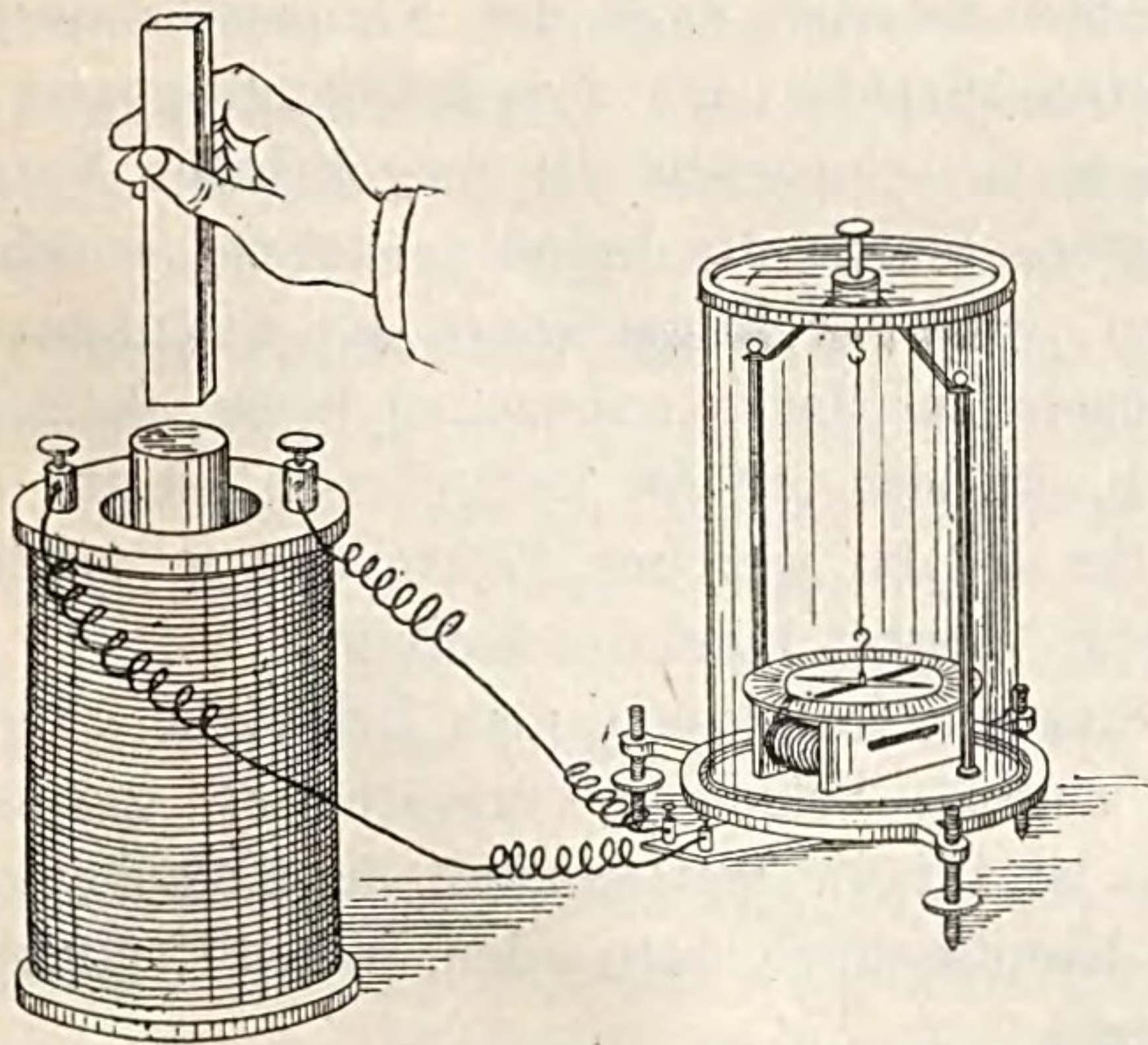


Fig. 99. Magnetische Induktion.

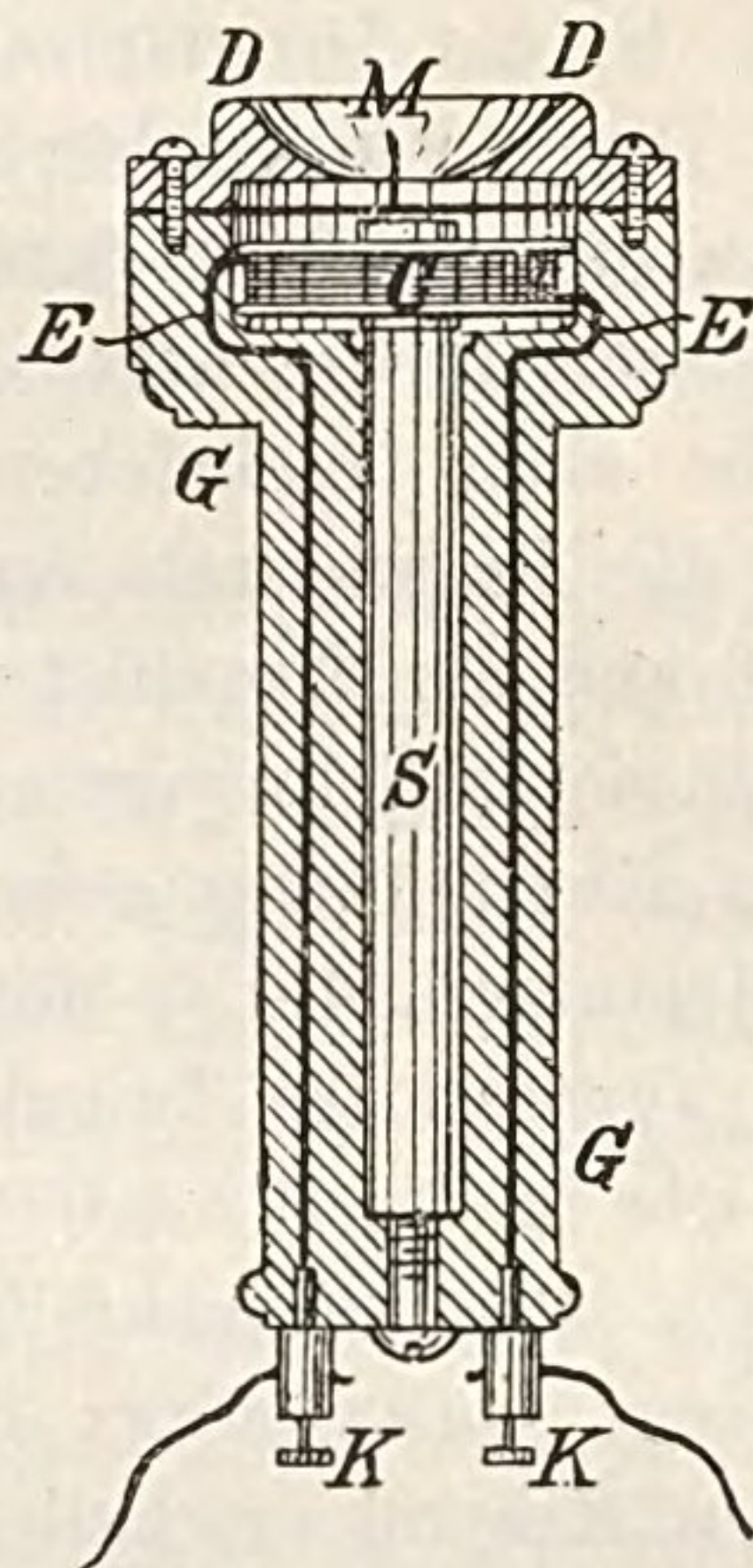


Fig. 100. Telephon.

Magnetpolen werden Induktionsströme erzeugt, deren Richtung stets eine derartige ist, dass die durch den Induktionsstrom wirksam werdenden elektromagnetischen Anziehungs- oder Abstossungskräfte auf die Bewegung hemmend einwirken.

Telephon. Die Magnetoelektricität findet eine besondere Anwendung beim Telephon oder Fernsprecher, mit Hilfe dessen gesprochene oder gesungene Worte sowie Töne von Instrumenten auf grössere Entfernungen übertragen werden können. (Philipp Reis, 1861; Graham Bell, 1877.)

Das Bell'sche Telephon (Durchschnitt desselben Fig. 100) besteht aus drei wesentlichen Bestandtheilen: einem Stahlmagnet *S*, der sich in einem hölzernen Gehäuse (*G*) befindet; einem sich an das vordere Ende des Magnets ansetzenden kurzen Cylinder (*C*) aus weichem Eisen, der den Kern einer Drahtspirale (Induktionsrolle) bildet; und einer davor ausgespannten dünnen Eisenplatte oder Eisenmembran (*M*), die zwischen das Holzgehäuse *G* und den

darauf geschraubten Deckel D eingespannt ist. Der Deckel D ist mit einer runden Schallöffnung versehen, in welche man hineinspricht. Die Enden der Drahtspirale (EE) führen (nach unten) zu zwei Klemmschrauben (KK), von denen aus Leitungsdrähte zu der Empfangs-Station führen, an welcher ein gleicher Apparat zur Aufnahme und Wiedergabe des Gesprochenen dient.

Wird in die Schallöffnung des Telephons hineingesprochen, gesungen u. s. w., so theilen sich die erzeugten Schallwellen der Eisenplatte M mit; diese beginnt zu schwingen und geräth in Folge dessen in wechselnde Entfernung von dem Eisenkern C . Da nun der letztere auf Grund der Einwirkung des Stahlmagnets S selbst magnetisch ist und die Eisenplatte bei ihrer Annäherung und Entfernung gegenüber C und S auch ihrerseits eine grössere oder geringere, zu- und abnehmende Magnetisirung erfährt, so greift deswegen eine Aenderung im Magnetismus des Eisenkerns Platz. Diese Aenderung ruft nun magnetoelektrische Induktionsströme in der Drahtspirale hervor, die nach Richtung und Stärke verschieden sind. Durch die Drähte EE begeben sie sich nach den Klemmschrauben KK und werden von hier durch die Leitungsdrähte nach dem Empfangsapparat (oder Empfänger) fortgeleitet, in welchem sich nunmehr die umgekehrten Vorgänge wie die eben beschriebenen abspielen: Durch die Induktionsströme, welche dasselbst die Drahtspirale durchfliessen, wird der Magnetismus des Eisenkerns verändert und die Eisenplatte in wechselndem Maasse angezogen bzw. abgestossen, so dass sie in Schwingungen geräth, die sich auf die Luft übertragen und einem an die Schallöffnung gehaltenen Ohr als [die gleichen Worte u. s. w. erscheinen wie diejenigen, die in den gebenden Apparat hineinerschallten.

(Verbessertes Telephon von Siemens, im Princip dem Bell'schen gleich.)

Die in die Stromleitung der meisten Telephone eingeschaltete galvanische Batterie (von Leclanché-Elementen) ist für die Wirksamkeit des Telephons nicht unbedingt nothwendig; sie dient hauptsächlich dazu, den Weckruf einer elektrischen Klingel erschallen zu lassen.

Das Telephon wirkt bis zu Entfernungen von über 100 km.

Mikrophon. Das Mikrophon (Hughes, 1878) ist ein Apparat, der frei im Zimmer gesprochene Worte, sowie überhaupt leise Geräusche auf grössere Entfernungen überträgt. Als Empfänger dient ein Telephon. Das Mikrophon besteht aus drei Stäben eines Leiters, z. B. Gaskohle, von denen zwei auf einem Resonanzkästchen liegen, während der dritte quer über jenen liegt. Die beiden erstgenannten Stäbe — und damit auch das dritte Stäbchen — werden in eine Telephonleitung eingeschaltet, die zugleich mit einer galvanischen Batterie verbunden ist. Wird nun das obere Stäbchen durch Schallwellen erschüttert, so wird der Widerstand der Leitung an der Berührungsstelle zwischen ihm und den unteren Stäben geändert — in einem Wechsel von Zeitdauer und Stärke, der dem der Schallwellen entspricht und daher aus dem als Empfänger dienenden Telephon die gleichen oder ähnliche Schallwellen heraustreten lässt. Sprechweite bis über 300 km.

Elektrodynamik. Da nach S. 166 zwei galvanische Ströme anziehende oder abstossende Kräfte auf einander ausüben, so ist es möglich, mittels des Galvanismus auch in ausgedehnterem Maasse Bewegung zu erzeugen.

Die Lehre von derartigen, durch Elektrizität erzielten Bewegungen und

damit auch Krafterleistungen heisst Elektrodynamik. Ausser dem schon (auf S. 166) genannten Gesetz der Anziehung und Abstossung elektrischer Ströme (bezw. Stromleiter) enthält die Elektrodynamik noch ein zweites Hauptgesetz: Zwei gekreuzte, von galvanischen Strömen durchflossene Leiter suchen sich in jedem Falle so zu stellen, dass sie parallel werden und die Ströme in beiden gleichgerichtet sind.

Auf Grund dieses Gesetzes lässt sich ein elektrodynamischer Rotationsapparat herstellen, in welchem ein Stromleiter um einen andern, feststehenden, von kreisförmiger Gestalt, eine kreisende Bewegung ausführt.

Statt des feststehenden Kreisstroms lässt sich ein Magnetpol verwenden, um den sich dann der Stromleiter dreht. Wird in diesem Falle (der Anwendung eines Stromleiters und eines Magnetpols) der Stromleiter feststehend und der Magnetpol beweglich gemacht, so dreht sich dieser um den Stromleiter.

Anwendung zur Erzeugung mechanischer Arbeitsleistungen.

Dynamoelektricität. Von der umgekehrten Beschaffenheit wie die elektrodynamischen Erscheinungen sind die dynamoelektrischen: mechanische Arbeit dient bei ihnen zur Erzeugung elektrischer Ströme.

Dynamoelektrische Maschine. Eine dynamoelektrische Maschine ähnelt in ihrer Einrichtung sehr einer magnetoelektrischen; der Unterschied zwischen beiden liegt darin, dass die dynamoelektrische Maschine nicht wie die magnetoelektrische einen im voraus vorhandenen Magnet, z. B. einen durch einen besonderen elektrischen Strom hergestellten Elektromagnet enthält, sondern dass der von der Maschine gelieferte Strom selbst zur Erzeugung eines Magnets benutzt wird.

Denken wir uns, dass in Fig. 101a, welche eine Form der Dynamomaschinen schematisirt darstellt, NS und N_1S_1 zwei Elektromagnete sind, an deren Polen eiserne Armaturen M und M_1 angebracht sind, zwischen denen ein starker Eisenring R oder besser ein ringförmiges Bündel zahlreicher dünner Eisendrähte in Umdrehung (um die Achse A) versetzt werden kann. Der Ring ist von einem Drahtgewinde umgeben. — Er heisst der Gramme'sche Ring (1871). — Sobald man denselben — im Sinne des grossen Pfeiles — dreht, werden die einzelnen Drahtwindungen gegen die Pole N und S_1 und die durch dieselben im Eisenkern des Ringes erzeugten entgegengesetzten Magnetpole verschoben; die Folge ist, dass die Windungen von einem elektrischen Strom durchflossen werden (Lenz'sche Regel, S. 169), dessen Richtung durch die kleinen Pfeile angedeutet ist; dieselbe ist auf der linken Hälfte des Ringes derjenigen auf der rechten entgegengesetzt.

Suchen wir diese Richtung für die obere Hälfte des Ringes festzustellen! — Den ganzen Eisenkern des Ringes können wir uns aus zwei Magneten — einem oberen und einem unteren — zusammengesetzt denken; beide haben ihren Nordpol auf der rechten Seite (gegenüber S_1), ihren Südpol auf der linken (gegenüber N). Die Lage beider Pole an sich (im Raume) bleibt bei der Drehung des Ringes unverrückbar dieselbe, weil sie den festliegenden Polen N und S_1 der Elektromagnete NS und N_1S_1 ihre Entstehung verdanken; den sich drehenden Ring dagegen durchwandern die Pole, oder sagen wir: der Ring dreht sich über die Pole hinweg.

Nach der Ampère'schen Vorstellung von der Natur des Magnetismus können wir uns einen Magnet als einen Eisenstab vorstellen, den ein elektrischer Strom von solcher Richtung umfließt, dass — wenn wir mit dem Strome schwimmen und den Stab ansehen — der Nordpol sich linker Hand befindet; diese Richtung würde für den unteren Magnet durch den Pfeil p angegeben werden. Dem Nordpol dieses Magnets nähert sich nun die rechte Hälfte des den oberen Magnet umgebenden Drahtgewindes fortdauernd; nach der Lenz'schen Regel muss daher in den Windungen derselben ein Strom von solcher Richtung erzeugt werden, dass er den den Magnetismus des unteren Magnets darstellenden Strom von der Richtung p abstossen würde. Da aber entgegengesetzt gerichtete Ströme einander abstossen, so muss die Richtung des in

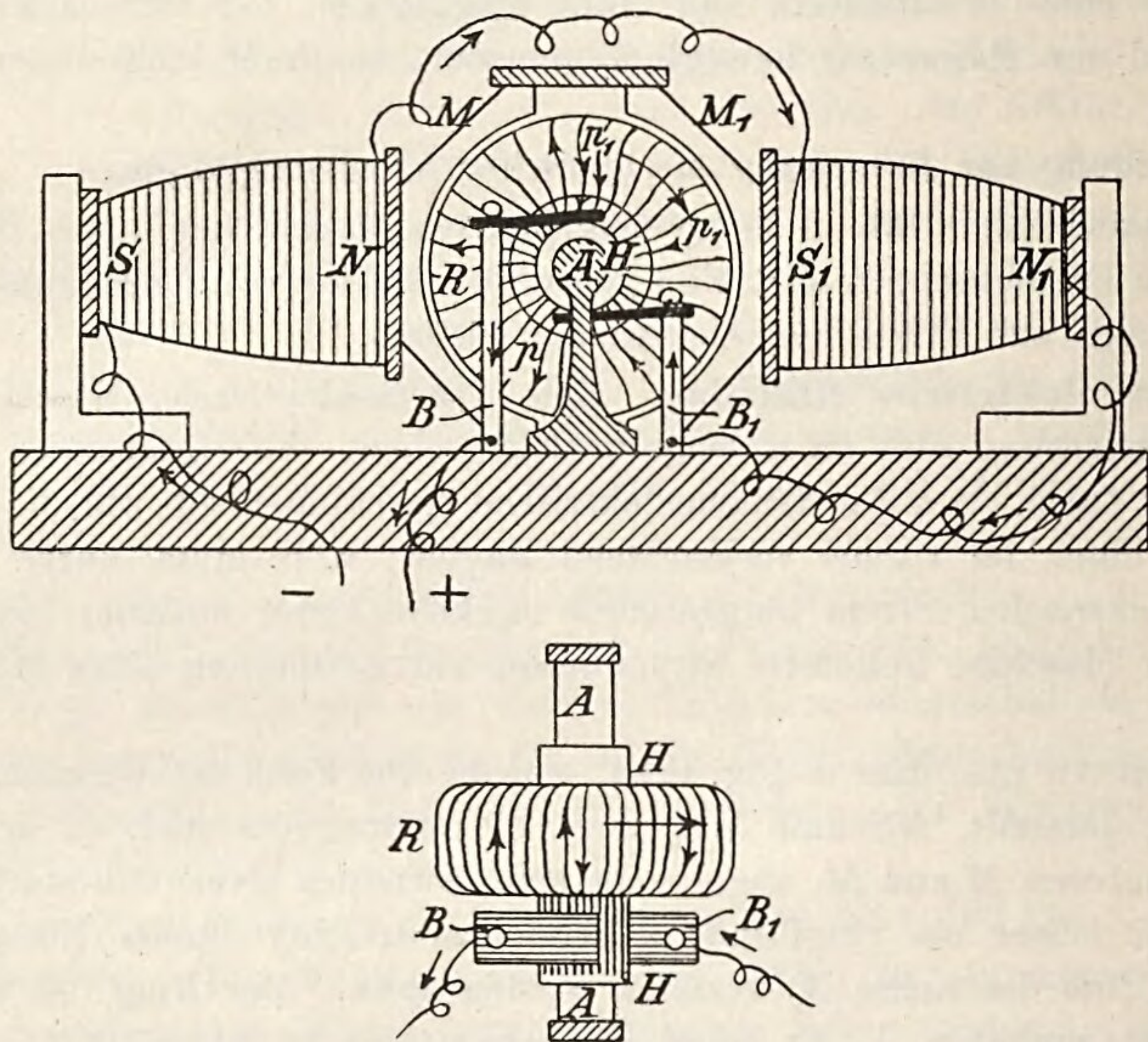


Fig. 101 a u. b. Dynamoelektrische Maschine.

dem rechten oberen Viertel des Drahtgewindes erzeugten Stromes die entgegengesetzte von p sein; sie wird durch die Pfeile p_1 angegeben.

Die die linke Hälfte des oberen Magnets umgebenden Windungen entfernen sich von dem Südpol des unteren Magnets; daher muss der sie durchfließende Strom dem den Magnetismus darstellenden Strom von der Richtung p gleichgerichtet sein, d. h. so, wie es die Pfeile angeben.

In gleicher Weise wie hier entwickelt, findet man die Richtung des Stromes in der unteren Hälfte des Ringes. —

An den beiden oben und unten befindlichen Punkten des Ringes, welche um 90° von den links und rechts befindlichen Polen entfernt liegen, also Indifferenzpunkte sind, fließen die Ströme der linken und rechten Hälfte des Drahtgewindes zusammen bzw. auseinander. Oben gehen sie auf die Speichen, welche sich zwischen dem Ringe und einem die Achse umgebenden Holzcyylinder

H ausspannen, über und von hier auf Metallstreifen des Holzcyinders selbst (siehe Fig. 101b, welche den Ring mit den zunächst daran sitzenden Teilen von oben gesehen zeigt). Mit den letzteren steht ein bürstenartig geformter Stromsammeler B in Berührung, von welchem ein Leitungsdraht den (positiven) Strom fortführt. In den rechts befindlichen Stromsammeler B_1 tritt der Strom ein und geht auf die Windungen der unteren Hälfte des Ringes über und nach beiden Seiten aus einander, wie die Pfeile zeigen.

Hätten wir es nun mit einer magnetoelektrischen Maschine zu thun, so würde der an B_1 befindliche Leitungsdraht gleich dem an B befindlichen frei endigen. Bei der dynamoelektrischen Maschine sind aber die beiden Eisenkerne NS und N_1S_1 von diesem Drahte umwickelt, so dass der Strom des letzteren ihren Elektromagnetismus erzeugt. Die freien Enden des Drahtes sind durch $+$ und $-$ bezeichnet.

Nach dem Gesagten entsteht durch die blosse Umdrehung des Ringes: erstens in den Windungen des Ringes der bei $+$ austretende und bei $-$ eintretende positiv elektrische Strom, und dieser Strom ist es zugleich zweitens, welcher NS und N_1S_1 zu Elektromagneten macht.

Dagegen könnte der Einwand erhoben werden, dass die Magnete NS und N_1S_1 vorher vorhanden sein müssen, damit dann der das Drahtgewinde durchfließende Strom entstehe, dass man daher nicht erst mittels des letzteren Stromes die Magnete erzeugen könne. Allein es ist anzunehmen, dass in NS und N_1S_1 eine gewisse Menge von Magnetismus zurückgeblieben ist (remanenter Magnetismus); in Folge dessen entsteht beim Drehen des Ringes in dem Stromleiter, sobald er geschlossen ist, zunächst ein schwacher Strom. Dieser verstärkt nun den Magnetismus der Pole N und S_1 und wird dadurch selbst wiederum stärker. So steigern sich gegenseitig Strom und Magnetismus bis zu einer Grenze hinauf, welche eintritt, wenn NS und N_1S_1 bis zur Sättigung magnetisirt sind. —

Die dynamoelektrische Maschine liefert nicht nur auf Kosten mechanischer Arbeit einen elektrischen Strom, der zu verschiedenen Zwecken, z. B. zur Speisung elektrischer Lampen, benutzt werden kann, sondern sie kann auch die umgekehrte Thätigkeit entfalten. Wird nämlich durch den bei $+$ und $-$ endigenden Draht ein elektrischer Strom geschickt, so bewirkt derselbe eine Umdrehung des Ringes.¹⁾ In diesem Falle kommt der Maschine der Name „elektrodynamischer Motor“ zu.

Wendet man zwei dynamoelektrische Maschinen an, so kann man eine Uebertragung von Kraft auf weite Strecken ins Werk setzen. Es liefert dann die eine Maschine den Strom, welcher zu der anderen Maschine, die als elektrodynamischer Motor wirkt, geführt wird und dieselbe in Thätigkeit versetzt. (Elektrische Eisenbahn.)

Thermo- und Pyroelektricität. Wir haben noch zwei besondere Arten der Entstehung von Elektricität aufzuführen. Erstens entsteht ein elektrischer

¹⁾ Wenn der positive Strom die in der Figur angegebene Richtung einschlägt, so dreht sich der Ring in umgekehrter Richtung, als es der grosse Pfeil anzeigt.

Strom in einer aus lauter Leitern erster Klasse (Metallen) zusammengesetzten geschlossenen Kette, wenn eine der Berührungstellen (Löthstellen) erwärmt wird: Thermeolektricität (Seebeck, 1821). Verwendung der von Nobili und Melloni (1830) konstruirten thermoelektrischen Säule (in Verbindung mit einem Galvanometer) zu empfindlichen Wärmemessungen. Zweitens zeigt sich eine Entwicklung von Elektricität (doch keines elektrischen Stromes) an gewissen Krystallen, z. B. Turmalin und Bergkrystall, wenn sie einer Temperaturveränderung, Pressung u. s. w. unterworfen werden: Pyroelektricität.

Elektrische Wellen. Nach Untersuchungen von H. Hertz (1888) breitet sich die Wirkung elektrischer Funken wellenförmig im Raume aus und weist die gleichen Haupt-Eigenthümlichkeiten auf, welche wir bei der Ausbreitung des Lichtes beobachten: geradlinige Ausbreitung (daher spricht Hertz von „Strahlen elektrischer Kraft“), Polarisation, Reflexion und Brechung.

Hiernach stellt sich auch die Elektricität in gewissen ihrer Erscheinungsformen — gleich dem Lichte — als eine Wellenbewegung des Aethers und allgemein als eine Art der Bewegung (oder als bewegte Materie) dar, wenngleich der allseitige Nachweis für diese Auffassung der Elektricität noch nicht geliefert ist.

Sachregister.

(Die beigetzten Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.)

- A**bdampfen 19.
Absorption 17.
Absorptionsspektrum 107.
Abstossende Kraft 11.
Abstossung, elektrische 140. 154; magnetische 151. 153.
Accumulator 160.
Achromatische (Doppel-)Linse 103. 106.
Achse, Krystall- 21; magnetische 151; optische 25. 110.
Adhäsion 11. 14; und spec. Gew. 66.
Adiatherman 136.
Aequivalent, mechanisches, der Wärme 137.
Aether, Welt- oder Licht- 8. 92; -Druck, -Stösse 8. 10.
Aggregatzustände 11; Aenderung derselben 122.
Agone 155.
Akustik 88.
Alkoholometer 66.
Amorph 18.
Ampère'sche Regel 163.
Amplitude der Oscillation 52. 86.
Analysator 113.
Analysirende Vorrichtung 112.
Anelektrisch 139.
Aneröidbarometer 75.
Anion 162.
Anisotrop 18. 110.
Anode 162.
Anziehung, elektrische 140. 154; magnetische 151. 153.
Anziehungskraft (der Erde) 8.
Aräometer 61. 64. 66.
Arbeit 38; Maass derselben 39.
Archimedisches Princip 58. 84.
Armirung, magnetische 153.
Asymmetrisches Kohlenstoffatom 115.
Atherman 136.
Atmosphärendruck 72.
Atmosphärische Dampfmaschine 132; atm. Elektrizität 150.
Atom, Masse- 7; chemisches 7.
Atomwärme 134.
Attraktion 8.
Atwood'sche Fallmaschine 32.
Auflösung 16.
Aufschwemmen 17.
Auftrieb in Flüssigkeiten 58.
Ausdehnung 1. 6. 117; unregelmässige, des Wassers 117.
Ausdehnungskoeffizient 117.
Ausfallswinkel 85. 96.
Ausflussgeschwindigkeit der Flüss. 56.
Ausscheidung 18.
Ausserordentlicher Strahl 111.
Avogadro'sches Gesetz 134.
Balancier 129.
Barometer 73.
Batterie, elektrische 149.
Beharrungsgesetz, -vermögen 2.
Benetzung 14. 66.
Berührungs-Elektrizität 157.
Beschleunigung, Beschleunigungswiderstand 3.
Beugung 87; des Lichtes 107.
Bewegung, Arten derselben 30; Erlöschen derselben 4.
Bewegungen, Uebereinanderlagerung kleiner 91.
Bewegungsfähigkeit 1.
Bild, optisches 96; scheinbares oder virtuelles 96.
Bildpunkt 96.
Bleiloth 28.
Bleuelstange 129.
Blitz 150.
Blitzableiter 150.
Bodendruck in Flüss. 55.
Bogenlicht, elektrisches 161.

- Boyle'sches, Mariotte-, Gesetz 70.
 Brahma'sche Presse 54.
 Braunstein-Element 160.
 Brechung des Lichtes 97.
 Brechungsexponent 98.
 Brechungsgesetz, Snellius'sches 98.
 Brechungswinkel 98.
 Brennpunkt eines sphär. Spiegels 97;
 einer Linse 100.
 Brennweite eines sphär. Spiegels 97;
 einer Linse 100.
 Brille 104.
 Brückenwage 50.
 Bürette 56.
 Büschelentladung, elektrische 142.
 Bunsen'sche Kette 160.
 Bussole 155; Tangenten- 164.

Centesimalwage 50. 51.
 Centralbewegung 39.
 Centrifugal-Kraft 40; -Regulator 40. 131;
 -Trockenmaschine 40.
 Centrifuge 40.
 Centripetalkraft 40.
 Chladni'sche Klangfiguren 91.
 Chromatische Abweichung 106.

Dalton'sches Gesetz 16. 128.
 Dampfmaschine 128; mit Kondensation
 128; ohne Kondensation 129.
 Dampfsättigung 127.
 Daniell'sche Kette 160.
 Davy'scher Lichtbogen 161.
 Decanthiren 17.
 Decimalwage 50.
 Deklination, magnetische 154.
 Deklinationsnadel 155.
 Destillation 123; fraktionirte 123.
 Dialysator 69.
 Dialyse 69.
 Diamagnetische Körper 154.
 Diatherman 135.
 Dichtigkeit 59; Abnahme derselben bei
 Erwärmung 118.
 Dielektricum 142.
 Differentialhebelpresse 43.
 Diffraction des Lichtes 107.
 Diffusion 16.
 Dihexaëder 26.
 Dimorph 26.
 Dioptrik 97. 98.
 Dispersion des Lichtes 104.
 Dissociation, elektrolytische 163.
 Döbereiner'sches Feuerzeug 17.
 Donner 150.
 Doppelbrechung 110.
 Doppelstrich, magnetischer 153.

 Druck, Ausbreitung desselben in einer
 Flüssigkeit 53.
 Druckpumpe 79.
 Dulong-Petit'sches Gesetz 134.
 Durchscheinende Körper 95.
 Durchsichtige Körper 95.
 Dynamoelektricität 171.
 Dynamoelektrische Maschine, Dynamo-
 maschine 171.

Echo 89.
 Ecke, krystallographische 21.
 Einfallslloth 85.
 Einfallswinkel 85. 96. 98.
 Eismaschine, Aether- 126; Carré'sche
 126.
 Elasticität 12; der Gase 69.
 Elektricität 139; atmosphärische 150;
 Ausbreitung derselben 142; Aus-
 strömen derselben 142; Fortpflanzungs-
 geschwindigkeit derselben 150. 168;
 freie 144; gebundene 144; Glas- 140;
 Halbleiter derselben 139. 140; Harz-
 140; Leiter derselben 139. 140; Natur
 derselben 141; negative 140; neutrale
 141; Nichtleiter derselben 139. 140;
 positive 140.
 Elektrische Abstossung 140. 154; An-
 ziehung 140. 154; Batterie 149;
 Büschelentladung 142; Eisenbahn 173;
 Klingel 168; Ladung 142; Polari-
 sation 160; Verteilung 144; Wellen 174.
 Elektrischer Haustelegraph 168; Strom
 156; Fortpflanzungsgeschwindigkeit
 desselben 168; negativer, positiver
 157; Wirkungen desselben 161. 162.
 163.
 Elektrisches Licht 161; Luftthermometer
 150; Pendel 140.
 Elektrisirmaschine, Influenz- 147; Rei-
 bungs- 145.
 Elektroden 162.
 Elektrodynamik 170.
 Elektrodynamischer Motor 173; Rota-
 tionsapparat 171.
 Elektrolyse 162.
 Elektrolyt 162.
 Elektromagnet, Elektromagnetismus 166.
 Elektromotorische Kraft 158.
 Elektrophor 146.
 Elektroskop 142.
 Elmsfeuer, Skt.- 150.
 Emanationstheorie, Emissionstheorie des
 Lichtes 93.
 Emissionsspektrum 107.
 Emulsion 16.
 Enantiomorphie 115.

Endosmose 68.
 Energie der Bewegung 139; der Lage 139; kinetische 139; potentielle 139.
 Entlader 148, 149.
 Entladung, elektrische, Wirkungen derselben 149.
 Entladungsfunke 149.
 Entladungsschlag, elektrischer, Geschwindigkeit desselben 150.
 Erdmagnetismus 154.
 Erstarren 19. 122.
 Erweichen 122.
 Excentrische Scheibe 131.
 Expansionskraft 11.
 Expansivkraft der Gase 69.
 Extractpresse, Real'sche 55.
 Extraordinärer Strahl 111.

Fall, freier 8. 28; auf der schiefen Ebene 37; -Beschleunigung 32; -Gesetze 29 u. f.; -Maschine, Atwood'sche 32; -Richtung 28; -Röhre 33.
 Farben, Komplementär- 105; dünner Blättchen 108; natürliche 105; Spektral- 105.
 Farbenzerstreuungsvermögen 106.
 Farbige Säume 106.
 Fernrohr 103.
 Fernsprecher 169.
 Feste Körper 11. 12.
 Festigkeit 12.
 Feuchtigkeit, absolute 128; relative 128.
 Feuerspritze 79.
 Flächenmaasse 6.
 Flächenwinkel 21.
 Flaschenzug 44.
 Flüchtigkeit der Flüssigkeiten 123.
 Flüssige Körper, Flüssigkeiten 11. 13.
 Flüssigkeitsoberfläche 53.
 Fluorescenz 106.
 Focus einer Linse 100; eines sphärischen Spiegels 97.
 Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei Wellenbewegungen 86; des elektrischen Entladungsschlages 150; des elektrischen Stromes 168; des Lichtes 93; des Schalles 88.
 Franklin'sche Tafel 149.
 Funke, elektrischer 142; Entladungs- 149.

Galactometer 66.
 Galvanisation 163.
 Galvanische Batterie 158. 159; Elektrizität, ruhende und strömende 156; Kette, offene und geschlossene 159; Vergoldung usw. 163.

Galvanischer Strom 157.
 Galvanisches Element 158.
 Galvanismus 156. 157; physiologische Wirkungen desselben 164.
 Galvanometer 164.
 Galvanoplastik 163.
 Galvanostegie 163.
 Gase, gasförmige Körper 11. 13.
 Gasgesetze 127.
 Gay-Lussac'sches Gesetz 118. 127—128.
 Gefässbarometer 73.
 Gefrieren 122.
 Gefrierpunkts-Erniedrigung 128.
 Geissler'sche Röhren 161.
 Geräusch 89.
 Geschwindigkeit 3.
 Gewicht, Gewichtsmaasse 8. 9; spezifisches 59. 60. 62. 66.
 Gewichts-Aräometer 61; -Verlust, scheinbarer 58.
 Gewitter 150.
 Gitter, Nobert'sche 103. 108.
 Gitterspektrum 108.
 Glas-Elektrizität 140.
 Glashahn 56.
 Gleichgewicht, Arten desselben 45; indifferentes 46; labiles 46; stabiles 46.
 Glühlicht, elektrisches 161.
 Goldene Regel der Mechanik 38.
 Goniometer 21.
 Grad (Wärmegrad) 119.
 Gramme'scher Ring 171.
 Grammophon 92.
 Granatoëder 23.
 Grassmann'scher Hahn 81.
 Gravitation 8.
 Gravitationsgesetz 9.

Haarrohr 67.
 Härte 12.
 Härteskala 12.
 Hahnluftpumpe 81.
 Halbflächner 20. 24.
 Halbleiter der Elektrizität 139.
 Handwage 47.
 Harz-Elektrizität 140.
 Hauchfiguren 16.
 Hauptschnitt 111.
 Hauptspirale 165.
 Haustelegraph, elektrischer 168.
 Hebel 41.
 Hebelarm 41.
 Hebelgesetz 42.
 Heber-Apparate 76.
 Heberbarometer 74.
 Hemiëdrisch 24.
 Heterogen 156. 158.

- Heteromorph 27.
 Hexaëder 23.
 Hexagonales (Krystall-)System 25.
 Hitzegrade 121.
 Hochdruckmaschine 129. 132.
 Höhenmessung 75.
 Hörrohr 89.
 Hohlspiegel 96.
 Holoëdrisch 24.
 Holosteric (Aneröidbarometer von Vi-
 di) 75.
 Homogenes Licht 108.
 Horizontal 28.
 Hydraulische Presse 54.
 Hydrostatische Wage 58.
 Hygrometer 128.
 Hygroskopisch 17.
 Hypothese 8.
Immersion 103.
 Imponderabler Stoff 93.
 Indifferenzpunkt, magnetischer 151.
 Induktion, elektrische 164; magnetische
 168.
 Induktionsapparat 165.
 Induktionsstrom 165.
 Influenz-Elektricität 144.
 Influenz, magnetische 152.
 Inhalationsapparat 78.
 Inklination, magnetische 154.
 Inklinationsnadel 155.
 Intensität der elektrischen Anziehung
 und Abstossung 154; der magneti-
 schen Anziehung und Abstossung 153;
 des Lichtes 93—94. 95; des Schalles 88.
 Interferenz 87; des Lichtes 107.
 Interferenzfransen 108.
 Interferenzringe 108.
 Intervall, musikalisches 90.
 Ion, Ionen (Ionten) 162; Wanderung
 derselben 163.
 Isochronismus der Schwingungen 53.
 Isogon 27.
 Isogonen 155.
 Isoklinen 155.
 Isolatoren der Elektricität 139.
 Isolirschmel 150.
 Isomorph 26. 27.
 Isotrop 110.
Kabel, elektrisches 168.
 Kälte 116.
 Kältemischung 126.
 Kalorie 125.
 Kalorimeter 133.
 Kanalwage 55.
 Kante, krystallographische 21.
 Kantenwinkel 21.
 Kapillarität 67.
 Kapillarrohr 67.
 Kathode 162.
 Kation 162.
 Katoptrik 96.
 Keil 39.
 Kette, galvanische 159; konstante 159.
 Kienmayer'sches Amalgam 145.
 Kinetische Energie 139.
 Kirchhoff'scher Satz 107.
 Klären 17.
 Klangfarbe 91.
 Klangfiguren, Chladni'sche 91.
 Kleist'sche Flasche 148.
 Kochen 122.
 Koërcible Gase 127.
 Koërcitivkraft 152. 153.
 Körper 1.
 Körpermaasse 6.
 Kohäsion 11.
 Kollektivlinse 103.
 Kolloidsubstanzen 69.
 Kommunizirende Gefässe 55.
 Kommunikationsrohr 89.
 Kommutator 164.
 Kompass 155.
 Kompensationspendel 117.
 Komplementärfarben 105.
 Komponente, (Kraft-) 36.
 Kompression 79.
 Kompressionspumpe 84.
 Kondensation 122.
 Kondensator, Dampf- 130; elektr. 157.
 Konduktor 145.
 Konkavlinse 102.
 Konkavspiegel 96.
 Kontakt-Elektricität 157.
 Konvexlinse 100.
 Konvexspiegel 97.
 Kraft1; Arten derselben 34; bewegende
 139; lebendige 39; momentan und
 dauernd wirkende 34; Pferde- 39;
 Spann- 139.
 Kraftleistung 38.
 Kräfte, Parallelogramm derselben 35;
 Zusammensetzung derselben 35.
 Krimstecher 104.
 Kritische Temperatur 126.
 Kritischer Zustand 127.
 Krystall 18; negativer 111; positiver 112.
 Krystallachsen 21.
 Krystallform 20; ideale 22.
 Krystallinisch 19.
 Krystallmehl 19.
 Krystallographie 18.
 Krystalloidsubstanzen 69.

- Krystallsystem 21.
 Kubus 23.
 Kugelbarometer 74.
Labil 46.
 Ladung, elektrische 142.
 Längenmaasse 6.
 Latente Wärme 125.
 Laugenspindel 66.
 Leclanché-Element 160.
 Leiter der Elektrizität 139; des elektr. Stromes 158; erster und zweiter Klasse 158.
 Leitungsdraht 157.
 Leitungswiderstand, elektrischer 164.
 Lenz'sche Regel 169.
 Leuchten 93. 94.
 Leydener Flasche 148.
 Libelle 53.
 Licht 92; Ausbreitung desselben 93; Fortpflanzungsgeschwindigkeit desselben 93; homogenes 108; Natur desselben 92.
 Lichtäther 92.
 Lichtenberg'sche Figuren 141.
 Liebig'scher Kühler 124.
 Linsen, Lichtbrechung in denselben 100.
 Löslichkeit 19.
 Lösung 16. 18 u. f.
 Lösungstheorie, van't Hoff'sche 127.
 Lösungswärme 126.
 Lokomotive 132.
 Longitudinalschwingungen 87. 88. 91.
 Loth 28.
 Lothrecht 28.
 Luft, Schwere derselben 71.
 Luftdruck 72.
 Luftförmige Körper 11. 13.
 Luftleerer Raum 72.
 Luftpumpe 81; Versuche mit derselben 83.
 Luftthermometer 120; elektrisches 150.
 Luftwiderstand 4.
 Lupe 101.
Maassanalyse, chemische 56. 76.
 Maasse 6. 9.
 Magnet, Hufeisen- 152; künstlicher 151; natürlicher 151; Stahl- 151.
 Magnetische Achse 151; Anziehung und Abstossung 151. 153; Armirung 153; Kurven 153; und diamagnetische Körper 154.
 Magnetischer Aequator 155; Meridian 155.
 Magnetisches Magazin 152.
 Magnetismus, Anwendungen desselben 155; Nord- und Süd- 152; remanenter 173; Theorie desselben 166.
 Magnetkraftlinien 153.
 Magnetnadel 151.
 Magnetoelektricität 168.
 Magnetoelektrischer Rotationsapparat 169.
 Manometer 79. 129.
 Mariotte-Boyle'sches Gesetz 70. 127—128.
 Masse 9.
 Materie 1.
 Mechanik, allgemeine 28; der festen Körper 41; der flüssigen Körper 53; der luftförmigen Körper 69; goldene Regel derselben 38.
 Mechanischer Nachtheil 38; Vorthail 38.
 Mechanisches Wärmeäquivalent 137.
 Medicinalgewichte 9.
 Meniskus, konkaver und konvexer 67.
 Messpipette 77.
 Metallic (Aneroidbarometer v. Bourdon) 75.
 Mikrophon 170.
 Mikroskop 102.
 Mischung 16.
 Mitschwingen 92.
 Mittönen 92.
 Mohr'sche Wage 58.
 Molekel, Molekül 7.
 Molekular-Aggregat 18.
 Molekularkräfte 11.
 Moment, statisches 42.
 Monoklines System 25.
 Morse'scher Schreibtelegraph 167.
 Multiplikator 164.
 Musik-Instrumente 91.
 Mutterlauge 19.
Nachbild 105.
 Nachhall 89.
 Nebenspirale 165.
 Neef'scher Hammer 165.
 Newton'sches Gravitationsgesetz 9.
 Nicholson'sche Senkwage 61.
 Nicol'sches Prisma 112.
 Niederdruckmaschine 129.
 Niederschlag 128.
 Nivellirwage 55.
 Nobert'sche Gitter 103. 108.
 Nordlicht 155.
Oberflächenspannung 68.
 Obertöne 91.
 Oeffnungsstrom, elektrischer 165.
 Ohm'sches Gesetz 164.
 Oktaëder 23.
 Opernglas 104.
 Optik 92.

Optisch einachsige Krystalle 110; zweiachsige Krystalle 110.
 Optische Achse 25. 110.
 Optischer Mittelpunkt (einer Linse) 100.
 Ordentlicher (ordinärer) Strahl 111.
 Oscillations-Amplitude 52. 86.
 Oscillationsgeschwindigkeit 86.
 Osmose 68.
 Osmotischer Druck 127.

Papin'scher Topf 123.
 Parallelogramm, der Kräfte 35; Watt-sches 131.
 Pendel 51; elektrisches 140.
 Permanente Gase 127.
 Pfeife, gedeckte 91; offene 91.
 Pferdekraft 39.
 Phiolenbarometer 74.
 Phonograph 92.
 Phosphorescenz 94.
 Photographie 107.
 Photometrie 95.
 Pinkfeuerzeug 137.
 Pipette 76.
 Planté'sches Element 161.
 Platten, planparallele 99.
 Pneumatisches Feuerzeug 69. 137.
 Pol, elektrischer 159; magnetischer 151.
 Polarisation, des Lichtes 108; elektrische 160.
 Polarisations-Apparate 112; -Ebene 109.
 Polarisations-Ebene, Drehung derselben 114; -Element 160; -Winkel 110.
 Polarisator 113.
 Polarisirende Vorrichtung 112.
 Poren, porös, Porosität 7.
 Potential, elektrisches 142.
 Potentialdifferenz 158.
 Pressen 39. 55.
 Primäre Spirale 165.
 Prisma 22. 99.
 Psychrometer, August's 128.
 Pumpe 76. 78; Luft- 81.
 Pykno-Aräometer 66.
 Pyknometer 63.
 Pyroelektricität 173. 174.
 Pyrometer 120.

Quadratisches System 24.
 Quecksilberbarometer 73.
 Quecksilberluftpumpe 82.
 Quellbarkeit 7.
 Quetschhahn 56.

Raoult'sches Gesetz 128.
 Real'sche Extractpresse 55.
 Reflektor 103.

Reflexion der Schallwellen 89; der Wellen im Allgemeinen 88; des Lichtes 96; totale 99; zerstreute, des Lichtes 95.
 Reflexionswinkel 96.
 Refraktion des Lichtes 97.
 Refraktor 103.
 Regenbogenfarben 105.
 Reguläres System 23.
 Reibung 4.
 Reibungselektricität 139.
 Reibungskoeffizient 4.
 Reiter 62.
 Repulsivkraft 11.
 Resonanz 92.
 Resonator 92.
 Resultirende (Kraft) 35.
 Rhombendodekaëder 23.
 Rhombisches System 25.
 Rhomboëder 26.
 Riemen ohne Ende 5.
 Rohrpost 84.
 Rolle 43.
 Rose'sches Metall 122.
 Rotationsapparat, elektrodynamischer 171; magnetoelektrischer 169.

Saccharimeter 115.
 Saccharometer 66.
 Sättigung, Dampf- 127. 128; einer Lösung 19.
 Sättigungskapazität 127.
 Säule, sechsseitige 26.
 Säurenschmelze 66.
 Saftpresse 39.
 Sammellinse 101.
 Saiten-Instrumente 91.
 Saugen 76.
 Saugheber 77.
 Saugpumpe 78.
 Schädlicher Raum 82.
 Schall, Entstehung und Natur desselben 88; Fortpflanzungsgeschwindigkeit desselben 88; zusammengesetzter 89.
 Schallintensität 88.
 Schallrohr 89.
 Schallstärke 88.
 Schallverstärkung 89.
 Schallwellen 88.
 Schatten 93.
 Schiefe Ebene, Fall auf derselben 37; Gesetz derselben 38; Gleichgewicht auf derselben 38.
 Schlämmen 17.
 Schliessungsdraht, elektrischer 159.
 Schliessungsstrom, elektrischer 165.

- Schmelzen 122.
 Schmelzpunkt 122.
 Schmelzungswärme 125; des Eises 125.
 Schnellwage 50.
 Schönen 17.
 Schraube 39.
 Schrauben-Mutter 39; -Pressen 39;
 -Spindel 39.
 Schreibtelegraph, Morse'scher 167.
 Schweben 59.
 Schwere 7; der Luft 71.
 Schwerkraft 7.
 Schwerpunkt 44.
 Schwimmen 59.
 Schwingungen 52; Isochronismus der-
 selben 53.
 Schwingungs-Arten 87; -Bäuche 87;
 -Bogen 52. 86; -Dauer 52. 86;
 -Knoten 87; -Weite 52. 86; -Zahl
 52. 86.
 Schwungkraft 40.
 Schwungrad 129.
 Segner'sches Wasserrad 57.
 Sehen 104.
 Sehweite 104.
 Sehwinkel 104.
 Seitendruck der Flüssigkeiten 57.
 Sekundär-Element 160.
 Sekundär-Strom 161.
 Sekundäre Spirale 165.
 Sekundenpendel 53.
 Selbstleuchtende Körper 94.
 Senkblei 28.
 Senkrecht 28.
 Senkwage, Nicholson'sche 61.
 Setzwage 28.
 Sicherheitsventil 43. 129.
 Sieden 122.
 Siedetemperatur 123.
 Siemens'sche Einheit 164.
 Singen des Wassers 123.
 Sirene 90.
 Skalenaräometer 64.
 Snellius'sches Brechungsgesetz 98.
 Spaltbarkeit 13. 20.
 Spaltungsfläche 20.
 Spannkraft 139; der Gase 69.
 Spannungsdifferenz, elektrische 158.
 Spannungsreihe, für Reibungselektrici-
 tät 141; Volta'sche 158.
 Spezifische Wärme 133.
 Spezifisches Gewicht 59; fester Körper
 60; flüssiger Körper 62; luftförmiger
 Körper 71; und Adhäsion 66.
 Spektralanalyse 106.
 Spektralfarben 105.
 Spektrum 105; Arten desselben 106.
 Spiegel, ebene 96; Hohl- oder Konkav- 96.
 Spiegelteleskop 103.
 Spiegelung 95.
 Sprachrohr 89.
 Spritzflasche 70.
 Stabil 46.
 Statisches Moment 42.
 Stechheber 76.
 Stereometer 62. 79.
 Stoss, centraler 85.
 Stoss elastischer Körper 85.
 Strahlen, chemische 107; elektrischer
 Kraft 174; unsichtbare, des Spek-
 trums 107.
 Strahlenpunkt 93.
 Strom, elektrischer oder galvanischer
 156. 157.
 Stromunterbrecher 165.
 Stromwender 164.
 Sublimation 19. 124.
 Suspendiren 17.
 Tangentenbussole 164.
 Tangentialkraft 40.
 Tarirwage 48.
 Taucherglocke 70.
 Telegraphie 167.
 Telephon 169.
 Teleskop 103.
 Temperatur 116; absolute 121; kritische
 126.
 Tension der Gase 69.
 Testobjekt 103.
 Tetraëder 24.
 Thaupunkt 128.
 Theilbarkeit 6.
 Thermoelektricität 173.
 Thermoelektrische Säule 174.
 Thermometer 119; Maximum- und
 Minimum- 121.
 Thonzelle 160.
 Tinkturenpresse 39.
 Todte Punkte 131.
 Ton 89.
 Tonhöhe 90.
 Tonleiter 90.
 Tonstärke 91.
 Torricelli'sche Leere (Vacuum) 72.
 Torsionsschwingungen 87.
 Trägheit 2.
 Trägheitsgesetz 2.
 Transversalschwingungen 87. 91. 109.
 Treibriemen 5.
 Treibschnur 5.
 Triklines System 25.
 Turbine 57.
 Turmalinzange 112.

Uebereinanderlagerung kleiner Bewegungen 91.
 Uebergangsfarbe 115.
 Umkrystallisiren 27.
 Undulationstheorie des Lichtes 93.
 Undurchdringlichkeit 1.
 Undurchsichtige Körper 95.
 Untersinken 59.

Vacuum, Torricelli'sches 72.
 Ventil 78.
 Ventilluftpumpe 81.
 Verdampfung 122.
 Verdampfungswärme 125; des Wassers 125.
 Verdichtung 122.
 Verdunstung 122.
 Verdunstungskälte 126.
 Verstärkungsflasche 148.
 Vertheilung, elektrische 144.
 Vertikal 28.
 Verwittern 20.
 Vierwegehahn 81.
 Vollpipette 77.
 Voltameter 163.
 Volta'sche Spannungsreihe 158.
 Volta'scher Fundamentalversuch 157.
 Volum 6. 17.
 Volumaräometer 64.
 Volumeter, Volumenometer 62. 79.
 Volumgewicht 60.

Wärme 116; -Aequivalent, mechanisches 137; Ausdehnung durch dieselbe 117; -Einheit 125; freiwerdende 125; gebundene 125; -Grad 116; -Kapazität 133; latente 125; -Leitung 135; Natur derselben 116; Quelle derselben 137; spezifische 133; -Strah-

len, dunkle 107. 136; -Strahlen, Reflexion derselben 136; -Strahlung 135; -Strahlungsvermögen 136; Verbreitung derselben 134; Verbreitung derselben durch Strömungen 135.
 Wage 47; hydrostatische 58.
 Wagerecht 28.
 Wasserluftpumpe 83.
 Wasserräder 57.
 Wasserstandsrohr 129.
 Watt'sches Parallelogramm 131.
 Wellen, elektrische 174; fortschreitende 87; stehende 87.
 Wellenberg 85.
 Wellenbewegung 85; des Lichtes 93.
 Wellenform 92.
 Wellenlänge 86.
 Wellenthal 85.
 Wellrad 44.
 Weltäther 8. 92.
 Westphal'sche Wage 63.
 Wettervorhersage 75.
 Wiederhall 89.
 Windbüchse 70.
 Windkessel 79.
 Widerstand, innerer, eines elektr. Elements (oder Batterie) 164.
 Wood'sches Metall 122.
 Würfel 23.
 Wurf, senkrechter 34; wagerechter 34; -Bahnen 36.
 Wurzelschneidemaschine 43.

Zahnrad 44.
 Zahnstange 44.
 Zerstäuber 78.
 Zerstreuung des Lichtes 104.
 Zerstreuungslinse 100.
 Zone (Krystall-) 22.
 Zonenachse 22.

Verlag von Julius Springer in Berlin N.

Conversations-Bücher für Pharmaceuten.

Französisch

von

Felix Kamm.

Preis kart. M. 1,—.

Englisch

von

Dr. Th. D. Barry.

Zweite durchgesehene Auflage.

Preis kart. M. 1,—.

Italienisch

von

J. Durst.

Preis kart. M. 1,—.

Neues pharmaceutisches Manual

von

Eugen Dieterich.

Fünfte vermehrte Auflage.

In Leinwandband Preis M. 12,—.

Gebunden und mit Schreibpapier durchschossen Preis M. 14,—.

Die neueren Arzneimittel.

Für Apotheker, Aerzte und Drogisten

bearbeitet von

Dr. Bernhard Fischer.

Mit in den Text gedruckten Holzschnitten.

Fünfte, stark vermehrte Auflage.

Preis in Leinwand geb. M. 7,—.

Medicinalflora.

Eine Einführung in die allgemeine und angewandte Morphologie und Systematik der Pflanzen mit besonderer Rücksicht auf das Selbststudium für Pharmaceuten, Mediciner und Studirende

bearbeitet von

Dr. Carl Müller,

Assistenten am pflanzenphysiologischen Institut der Universität
und am botanischen Institut der königlichen landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin.

Mit 380 in den Text gedruckten Figuren.

Preis M. 8,—; in Leinwand geb. M. 9,—.

Handbuch der pharmaceutischen Praxis.

Für Apotheker, Aerzte, Drogisten und Medicinalbeamte

bearbeitet von

Dr. Hermann Hager.

Mit zahlreichen in den Text gedruckten Holzschnitten.

Neue wohlfeile Ausgabe.

Neunter unveränderter Abdruck

Drei Bände (incl. Ergänzungsband).

Preis vollständig M. 44,—; gebunden in 3 Halblederbände M. 50,—.

(Ist auch in 44 Lieferungen à M. 1,— zu beziehen.)

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Verlag von Julius Springer in Berlin N.

Das Mikroskop und seine Anwendung.

Ein Leitfaden bei mikroskopischen Untersuchungen für
Apotheker, Aerzte, Medicinalbeamte, Schullehrer, Kaufleute, Techniker, Fleischbeschauer etc.

von **Dr. Hermann Hager.**

Siebente, durchgesehene und vermehrte Auflage.

Mit 316 in den Text gedruckten Holzschnitten.

Preis gebunden M. 4,—.

Technik der Pharmaceutischen Receptur.

Von **Dr. Hermann Hager.**

Fünfte umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Mit zahlreichen in den Text gedruckten Holzschnitten.

Preis M. 7,—; gebunden in Leinwand M. 8,20.

Kommentar zum Arzneibuch für das Deutsche Reich.

Dritte Ausgabe.

Unter Mitwirkung zahlreicher Fachgenossen herausgegeben von

H. Hager, B. Fischer und C. Hartwich.

Mit zahlreichen in den Text gedruckten Holzschnitten.

2 Bände. Preis M. 20,—; in 2 Halbfranzbände gebunden M. 24,—.

Specialitäten und Geheimmittel

mit Angabe ihrer Zusammensetzung.

Eine Sammlung von Analysen, Gutachten und Litteraturangaben.

Zusammengestellt von

Eduard Hahn und Dr. J. Holfert.

Fünfte, völlig umgearbeitete und sehr vermehrte Auflage.

Preis M. 4,—; in Leinwand geb. M. 5,—.

Volksthümliche Arzneimittelnamen.

Eine Sammlung der im Volksmunde gebräuchlichen Benennungen der Apothekerwaaren.

Nebst einem Anhang: Pfarrer Kneipp's Heilmittel.

Unter Berücksichtigung sämtlicher Sprachgebiete Deutschlands zusammengestellt von

Dr. J. Holfert.

Preis M. 3,—; in Leinwand gebunden M. 4,—.

Handbuch der Arzneimittellehre.

Mit besonderer Rücksichtnahme auf die neuesten Pharmakopöen für Studirende und Aerzte

bearbeitet von

Dr. Theodor Husemann.

Dritte Auflage des Handbuches der gesamten Arzneimittellehre.

In Leinwand gebunden M. 10,—.

Pharmakognostischer Atlas.

Mikroskopische Darstellung und Beschreibung der in Pulverform gebräuchlichen Drogen.

Von **Dr. J. Moeller,**

o. ö. Professor der Pharmakologie und Pharmakognosie an der Universität Innsbruck.

110 Tafeln in Lichtdruck mit erklärendem Texte.

Preis M. 25,—; in Halbfranz gebunden M. 28,—.

(Kann auch in 5 Lieferungen zu je M. 5,— bezogen werden.)

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

M
C
A

Ph

Phy



/ Jordan, Karl Friedrich, / Holfert, Johann

Schule der Pharmacie in fünf Bänden

Bd.: 3

1893

M.med. 954 im-3

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11649898-3